



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTOTIPO DIDÁCTICO DE UN
SISTEMA HÍBRIDO AUTOMOTOR**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:

VÍCTOR NEGRETE CORTÉS



DIRECTOR DE TESIS: M.I. ANTONIO ZEPEDA SÁNCHEZ

MÉXICO, D.F.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A Dios

Por la bendición de la vida.

A mi Esposa:

Por su amor, impulso, compañía y apoyo para la realización de éste trabajo; y a la Bendición que lleva dentro.

A mi mamá:

Por la educación y principios que me inculca.

A mi abuelita:

Consuelo Ríos con mucho cariño.

A mis carnalitos Enrique y Jaime:

Por su confianza, amistad y apoyo incondicional.

A toda la familia Negrete, familia Cortés y familia Huerta:

Por sus consejos y ejemplos que han moldeado mi vida, saben que si los menciono a todos necesitaría muchísimo mas espacio.

A mis tíos Araceli y Agustín:

Con aprecio y cariño, y a mis primos Erick y Eduardo.

Con respeto y agradecimiento a los sinodales:

Dr. Adrián Espinosa Bautista

Ing. Mariano García Del Gallego

Ing. Serafín Castañeda Cedeño

Ing. Martín Reyes Farias

Con respeto y agradecimiento a mi asesor:

M.I. Antonio Zepeda Sánchez

Que con dedicación y ahínco hacen posible la culminación de esta meta.

A la memoria de mi Padre
Víctor Negrete Ríos

A la memoria de mis abuelitos:
Ernestina, Enrique
y Agustín.

ÍNDICE

Prototipo Didáctico de un Sistema Híbrido Automotor

INTRODUCCIÓN.....	1
Descripción breve del tema general del trabajo.....	1
Planteamiento del problema.....	2
Objetivo.....	2
Descripción breve del desarrollo del trabajo.....	2
ANTECEDENTES.....	5
Capítulo 1. LOS SISTEMAS HÍBRIDOS.....	13
1.1 Tipos de Sistemas Híbridos.....	13
1.1.1 Sistema Híbrido tipo Serie.....	13
1.1.2 Sistema Híbrido tipo Paralelo.....	14
1.2 Ventajas de los Sistemas Híbridos.....	15
1.2.1 Ventajas de los Vehículos Híbridos vs. Vehículos eléctricos.....	15
1.2.2 Ventajas de los Vehículos Híbridos vs. Vehículos convencionales.....	16
1.3 Dispositivos componentes de los Sistemas Híbridos.....	17
1.3.1 La transmisión mecánica de un Vehículo Híbrido.....	17
1.3.2 Motor Eléctrico.....	18
1.3.3 Almacén de Energía Eléctrica.....	21
1.3.4 Motor Térmico.....	22
1.3.5 Volantes de Inercia.....	25
1.3.6 Sistema de Control.....	25
1.4 Principales pérdidas de energía.....	28
1.5 Estudio comparativo de autos híbridos comerciales.....	29
1.5.1 Honda Insight.....	29
1.5.2 El Toyota Prius.....	31
1.5.2.1 Análisis cinemático del tren de engranes planetario.....	34
1.5.2.2 Análisis de pares del tren de engranes planetario.....	35
1.5.3 Proyecto de la Universidad de Cornell.....	39
1.5.4 Renault Next.....	39
1.5.5 Renault Space Vert.....	39
1.5.6 Hyundai FGV-I.....	39
1.5.7 Audi Dúo.....	40

1.5.8	Chrysler Citadle.....	40
1.5.9	Citröen Xsara Dynalto.....	40
1.5.10	GM Impact.....	40
1.5.11	Mitsubishi Suw Advance.....	40
1.5.12	Pininfarina Metrocubo.....	41
1.5.13	Volvo ECC.....	41
1.5.14	Comparativa de rendimientos de combustible.....	41
1.6	Alcance del Capítulo I.....	42
Capítulo 2. GENERACIÓN DE SOLUCIONES.....		43
2.1	Lluvia de ideas.....	43
2.2	Selección de soluciones.....	45
2.2.1	Motor Térmico.....	45
2.2.1.1	Descripción de partes del Motor Térmico.....	48
2.2.1.2	Proceso de Montaje del Motor Térmico.....	51
2.2.1.3	Equipo requerido para operar el Motor Térmico.....	56
2.2.1.4	Inicio de operación del Motor Térmico.....	57
2.2.1.5	Primer puesta en marcha del Motor Térmico.....	58
2.2.1.6	Paro del Motor Térmico.....	60
2.2.1.7	Acoplamientos mecánicos.....	60
2.2.1.8	Instalación del Motor Térmico.....	61
2.2.2	Actuadores eléctricos y electrónicos.....	62
2.2.2.1	Batería.....	62
2.2.2.2	Servomotor.....	63
2.2.2.3	Sensor óptico de Velocidad angular.....	65
2.2.2.4	Relevadores.....	66
2.2.3	Sistema de Control.....	67
2.3	Alcance del Capítulo II.....	68
Capítulo 3. DISEÑO DE DETALLE.....		
3.1	Diseño mecánico.....	69
3.2	Diseño electrónico.....	72
3.2.1	Comunicación entre microcontroladores.....	73
3.2.2	Parámetros de control del Ángulo del servomotor.....	74
3.2.3	Parámetros de medida de carga en la batería.....	75
3.2.4	Parámetros del encoder para la medición de velocidad de los ejes rotatorios.....	77
3.2.5	Ubicación de componentes y conexiones en la <i>Placa Planta</i>	79
3.3	Diseño del firmware de los microcontroladores.....	83
3.3.1	Programa para el microcontrolador maestro.....	83
3.3.2	Repertorio de instrucciones para control del sistema.....	85

3.3.3	Modo Manual de funcionamiento.....	86
3.3.4	Modo Serie de funcionamiento.....	88
3.3.5	Programa para el microcontrolador esclavo.....	94
3.3.6	Descarga de programas al microcontrolador maestro.....	100
3.4	Vista general del prototipo.....	102
CONCLUSIONES.....		103
Apéndice A: PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR PIC16F874.....		106
Apéndice B: PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR PIC16F84A.....		121
Apéndice C: DIAGRAMAS ELECTRÓNICOS.....		127
Apéndice D: CIRCUITOS IMPRESOS		129
Apéndice E: LISTA DE COMPONENTES.....		132
BIBLIOGRAFÍA.....		135

INTRODUCCIÓN

Actualmente vivimos la era del automóvil particular para el traslado de personas y materiales de todo tipo. Gracias a la demanda de éstas máquinas su precio ha disminuido al grado que la mayoría de la población posee uno para su uso personal. Sin embargo, éste fenómeno ha traído consigo la necesidad de diseñar sistemas de locomoción más eficientes para disminuir la contaminación producida por la quema de combustibles en los motores térmicos que tantos vehículos emiten durante su vida útil.

Los intentos por alcanzar el objetivo de la alta eficiencia han abarcado diversos aspectos del diseño y manufactura de los vehículos, entre ellos tenemos el de aligerar la carrocería con el empleo de nuevos materiales, diseñar los vehículos con perfiles aerodinámicos para disminuir el arrastre, mejorar las técnicas de combustión en el motor térmico y aplicar nuevos materiales en éste para mejorar el rendimiento del combustible, y actualmente aprovechar las sinergias entre los distintos tipos de fuentes de locomoción como son los motores térmicos comúnmente empleados y los motores eléctricos, tecnología a la cual se ha llamado Híbrida por la combinación de dichas fuentes de locomoción. Aunque esta idea no es nueva, ha sido retomada por la necesidad de disminuir los niveles de contaminación y aumentar la economía del combustible, y dado que los avances tecnológicos hacen posible la combinación de dichas fuentes de locomoción se está realizando una gran investigación y desarrollo en éste tema.

DESCRIPCIÓN BREVE DEL TEMA GENERAL DEL TRABAJO

Dado el avance y empuje que ha traído la tecnología de los vehículos llamados *no contaminantes* (e.g. eléctricos, híbridos, de combustibles alternativos, etc.), la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), como es de esperarse, ha dedicado muchos recursos a la investigación e implementación de las tecnologías relacionadas con éstos para su aplicación y beneficio en nuestro país, obteniendo con ello un gran cúmulo de información y conocimientos que sirven de base para desarrollos posteriores en éste campo tecnológico. Se ha desarrollado, por ejemplo, un autobús totalmente eléctrico, se ha modificado un volkswagen sedán convencional a eléctrico y se construyó un Vehículo Eléctrico de Carga llamado VER, entre otros muchos proyectos realizados dentro de éste tema.

Ahora se ha abierto la posibilidad al desarrollo de los sistemas híbridos y para llevarlo a cabo, se han propuesto diversos proyectos de los cuales el presente forma parte inicial de ellos. Como en éste caso es el Proyecto del Programa de Apoyo a la Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) IN104405 denominado: "*Estudio de Sistemas de generación de potencia en vehículos de combustibles alternativos e híbridos*" patrocinado por la Dirección General de Asuntos

del Personal Académico (DGAPA), UNAM. El presente trabajo fue solo una parte del estudio de todo el Proyecto.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los problemas fundamentales a tratar en un sistema híbrido es el *control* de los diferentes dispositivos que intervienen en el almacenamiento, generación y consumo de energía empleada para mover al vehículo ya que debe decidir en qué momento deben actuar, con qué intensidad y en que momento deben salir de operación, todo esto acorde a las necesidades durante la conducción por parte del piloto del vehículo.

Aunado a esto, existen diferentes configuraciones de sistemas híbridos y otro problema consiste en encontrar la configuración adecuada al diseño del vehículo híbrido según sus características muy particulares y en función de las expectativas planteadas para el. Para realizar esto es preferible contar con un dispositivo que pueda emular los distintos modos de funcionamiento para evitar tener que realizar un prototipo específico para cada uno de dichos modos.

Por otro lado, existe la necesidad de incluir modelos didácticos que sean portátiles y de fácil manejo con relación a la tecnología híbrida para el apoyo en la enseñanza de las asignaturas relacionadas con éstos temas.

Por lo tanto, es necesario realizar un prototipo experimental con fines didácticos para introducirse al complejo mundo de la tecnología híbrida, y de éste modo acerquemos a las nuevas generaciones al conocimiento de éstas tecnologías.

Con base en lo anterior, podemos establecer el objetivo a alcanzar en éste trabajo.

OBJETIVO

Diseñar y construir un dispositivo didáctico que permita demostrar el modo de operación de un Sistema Híbrido Serie de transmisión de potencia, similar a los utilizados en los vehículos híbridos.

DESCRIPCIÓN BREVE DEL DESARROLLO DEL TRABAJO

El presente trabajo de Tesis está dividido en seis diferentes partes que son descritos brevemente a continuación.

En los *Antecedentes* se presenta información básica para una mejor comprensión del tema a tratar, por lo que se inicia con una breve descripción de los vehículos híbridos en su principio de funcionamiento, principales características y componentes de éstos, comenzando por su definición básica y las condiciones que debe cumplir un buen diseño. Por último, presenta una breve reseña histórica de la evolución de los autos híbridos.

En el *primer capítulo* se ahonda sobre las características principales de los vehículos híbridos por la configuración de sus elementos, describiendo la configuración serie y paralelo, así como los distintos modos de funcionamiento que pueden realizarse para cada configuración. Muestra algunas de las principales ventajas de los vehículos híbridos con respecto a los vehículos eléctricos y a los convencionales. Se mencionan las características principales de los distintos componentes que forman al vehículo híbrido como el motor eléctrico, el motor de combustión, el sistema de transmisión, etc. Por último, se hace un estudio comparativo entre los distintos modelos comerciales de vehículos híbridos disponibles en el mercado, para que en el siguiente capítulo se enfoque exclusivamente en el Sistema Híbrido Serie.

El *segundo capítulo* comienza con una propuesta de realización del prototipo, basándose en un esquema preliminar, con la intención de hacer un orden de ideas y buscar estrategias para dicha realización. En seguida se hace una descripción específica de las piezas que componen el conjunto del *prototipo didáctico*, comenzando por la del motor térmico empleado, así como del equipo y consumibles necesarios para operarlo. Se muestran las piezas finales de las que se compone el Prototipo, como los acoples mecánicos de las flechas de los rotores, las máquinas eléctricas empleadas en sus modalidades de generador y motor, la descripción y funcionamiento del servomotor empleado, la batería y los relevadores externos. Menciona los microcontroladores empleados en la realización del *Prototipo Didáctico* y las características principales de éstos, así como su función específica de cada uno dentro del prototipo.

El *capítulo tercero* trata sobre la descripción a detalle de cada uno de los parámetros que se emplean para el control del Prototipo y de su cuantificación en base a las características físicas, valores calculados y los proporcionados por los distintos fabricantes de los dispositivos empleados. Con los datos anteriores establecidos, comienza la explicación del desarrollo de los programas de los microcontroladores, mencionando por separado las distintas subrutinas empleadas para su mejor comprensión y acompañadas de un diagrama de flujo y del bloque de código ensamblador correspondiente. Por último, se especifica la ubicación de las conexiones que se deben hacer a la Tarjeta electrónica de potencia y su relación con los relevadores externos.

A continuación, se presentan las *conclusiones* hechas sobre el Prototipo, el nivel de alcance del objetivo así como las propuestas para trabajos posteriores relacionados con éste tema.

Por último, se presentan las referencias bibliográficas y cinco apéndices en los que se incluye el programa completo del microcontrolador PIC16F874 y el del PIC16F84A que fue

realizado y simulado dentro del software "MPLAB" y que fue usado en dichos microcontroladores para el sistema de control del Prototipo. También se muestran los diagramas de las tarjetas electrónicas que fueron realizadas dentro del software "ProtelDXP" así como las pistas correspondientes a sus circuitos impresos emitidas también con el software antes mencionado. Se presenta también la lista de componentes electrónicos empleados en las tarjetas electrónicas.

ANTECEDENTES

DEFINICIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE POTENCIA

Un sistema Híbrido aplicado al concepto de los vehículos automotores es aquel vehículo que presenta una combinación de dos fuentes de energía para obtener su movimiento.

Mucha gente ha tenido contacto con un vehículo híbrido en algún momento de su vida, por ejemplo, una motoneta con pedales (moped) es un tipo de híbrido porque combina la potencia de un motor a gasolina con la potencia del pedaleo del piloto. Entonces, cualquier vehículo que combine dos o más fuentes de poder que puedan directa o indirectamente proveer potencia de propulsión es un Híbrido.

Las fuentes más comunes de energía son las obtenidas de los combustibles fósiles y de la obtenida de pilas o acumuladores eléctricos. La obtención de la energía de los combustibles se da a través de un motor térmico de cualquiera de los modelos conocidos hasta ahora como son turbina de gas, motor Otto o Diesel, etc. Por otro lado, aunque se dice que las pilas son una fuente de energía, éstas funcionan principalmente como almacenadores de energía que la entregan a un motor eléctrico y la reciben de un generador eléctrico que puede ser activado por un motor térmico.

Para ser útiles, los vehículos de todo tipo deben cubrir un mínimo de características básicas que son^[13]:

- Autonomía de al menos 450 km (279.62 millas).
- Recarga sencilla y rápida.
- Mantener el ritmo del tráfico en la carretera.

Los vehículos convencionales cumplen éstos requisitos pero producen grandes cantidades de contaminación y por lo tanto se obtienen bajos rendimientos de gasolina debido a las ineficiencias del sistema. Por otro lado, un auto eléctrico produce menos contaminación pero puede solamente abarcar de 80 a 160 Km entre carga y carga, además, que es muy lento para recargar sus baterías. Un auto híbrido combina las ventajas de un auto de motor a gasolina y uno eléctrico.

Con el enfoque anterior los sistemas híbridos pueden componerse de dos subsistemas, uno de los subsistemas tiene por objetivo la generación de energía eléctrica con un generador acoplado a un motor térmico en regímenes altamente eficientes de trabajo. El otro subsistema está compuesto por la batería eléctrica y el motor eléctrico que aprovecha la energía de la batería para asistir al motor térmico cuando éste trabaja en un régimen de baja eficiencia, que por lo general es a bajas revoluciones.

Existen dos diferentes formas de montar ambos subsistemas: La configuración en **paralelo** y la configuración **serie**, de las cuales comentaremos más adelante.

Algunas de las ventajas de la utilización de los vehículos híbridos son las que provienen del origen eléctrico del movimiento, como son:

- La *frenada regenerativa*, que contribuye a minimizar la energía perdida en las frenadas habituales de la conducción al almacenar la más posible como energía eléctrica en la batería.
- El uso de un *motor térmico* más pequeño, diseñado de acuerdo con la carga media de la conducción y no con la carga máxima, ya que es el *motor eléctrico* el que soporta los picos de carga como son los rebases o acelerones. Esto permite rebajar el peso del vehículo al máximo, disminuyendo las pérdidas de energía por rozamiento.
- Gran disminución en el *consumo del combustible* de hasta un 50% con respecto a un vehículo convencional.
- Gran descenso en las *emisiones contaminantes*, ya que el motor térmico trabaja en regímenes altamente eficientes y consume por lo tanto menos combustible y lo quema mejor.
- Posibilidad de uso de *combustibles alternativos*, reduciéndose la dependencia de los combustibles fósiles debido a la gran variedad de motores térmicos que se pueden utilizar.

COMPONENTES DE UN SISTEMA HÍBRIDO

En la mayoría de los sistemas híbridos es común encontrar las siguientes componentes:

- **Motor térmico:** Como los que actualmente se encuentran en los autos convencionales con la diferencia que en un motor híbrido es más pequeño dado que trabaja en un régimen mas constante y eficiente por lo que no se tiene que sobredimensionar y esto proporciona más eficiencia al sistema en general.
- **Tanque de Combustible:** Es el dispositivo de almacenaje de combustible, el cual es energéticamente más denso que las baterías, ya que la energía almacenada en 7 Kilogramos de combustible (gasolina por ejemplo) es equivalente a la almacenada en una tonelada de baterías^[7].
- **Motor Eléctrico:** El dispositivo que puede auxiliar en la entrega de potencia para mover el vehículo cuando el motor térmico es ineficiente o generar electricidad a partir de éste movimiento cuando se frena.
- **Generador Eléctrico:** El generador es similar al motor eléctrico, pero actúa predominantemente como generador para almacenar energía en la batería a partir del motor térmico.

- **Batería:** Es el dispositivo de almacenaje de energía para entregarla al motor eléctrico y demás componentes eléctricos cuando así se requiere.
- **Transmisión mecánica:** Desarrolla las mismas funciones que las transmisiones de los autos convencionales, sin embargo algunos sistemas presentan una innovación fundamental para el acople mecánico de los distintos motores que integran al sistema híbrido, como el tren de engranes epicicloidal que se comentará más adelante.

EFICIENCIA Y DESEMPEÑO EN LOS SISTEMAS HÍBRIDOS

El control de emisiones contaminantes consiste en la cantidad de monóxido de carbono que tiene permitido un vehículo a emitir en una determinada distancia recorrida por éste. Ésta cantidad es especificada generalmente en gramos por milla (g/mi) y el estándar para un vehículo con bajas emisiones es de 3.4 g/mi para el monóxido de carbono^[15]. El asunto es que la cantidad de contaminación permitida no depende del rendimiento del vehículo, por lo que un auto compacto y un auto grande aprueban el control de emisiones contaminantes aunque éste último genere más contaminación por quemar más combustible durante su movimiento.

El dióxido de carbono (CO₂) es otro tipo de contaminante que producen los automóviles a gasolina y éste no es regulado, aunque se sospecha que éste contaminante contribuye al fenómeno conocido como calentamiento global.

Por otro lado, los conductores de vehículos automotor desean por lo general una rápida aceleración, lo que ocasiona que los automóviles se vuelvan mucho menos eficientes de lo que podrían ser. Se ha observado que autos con motores menos potentes obtienen mejores rendimientos de gasolina que autos idénticos con motores más potentes. Cuando usamos un auto a velocidad crucero solo se usa un pequeño porcentaje de su potencia total disponible. Cuando se conduce a 100 km/h la potencia del motor del automóvil se reparte en los siguientes aspectos^[12]:

- Igualar el *arrastre aerodinámico* ocasionado por la reacción del aire al mover el automóvil a través de él.
- Igualar las *fuerzas mecánicas de fricción* en los componentes del auto como son los neumáticos, transmisión, ejes, frenos y motor.
- Suministrar *potencia para accesorios* como aire acondicionado, el auto-estéreo y las luces de navegación así como demás componentes electrónicos dentro del vehículo.

Para la mayoría de los vehículos convencionales hacer lo anterior requiere de 20 [Hp]. Entonces ¿Para que necesita un auto 200 [Hp]? Sólo para la aceleración del vehículo, que es el único momento en el que se emplean, el resto del tiempo se usa considerablemente menos potencia de la que se dispone en el motor térmico.

La clave en un auto Híbrido es que el motor térmico puede ser mucho más pequeño que el de un auto convencional y por lo tanto más eficiente. La mayoría de los autos requieren un motor térmico relativamente grande para producir suficiente potencia al acelerar rápidamente el auto. Sin embargo, en un motor más pequeño la eficiencia puede ser mejorada por el uso de partes más ligeras y pequeñas, por la reducción del número de cilindros y por la operación del motor térmico cercana a su carga máxima (donde es más eficiente).

Hay muchas razones por las que motores térmicos pequeños son más eficientes que los grandes:

- El motor térmico grande es más pesado que el pequeño, así que el auto emplea una energía extra cada vez que éste se acelera o sube por una pendiente.
- Los pistones y otros componentes internos son más pesados, demandando más energía durante el movimiento del motor.
- El desplazamiento de los cilindros es mayor y por lo tanto más combustible es requerido por cada cilindro.
- Los motores grandes usualmente tienen más cilindros, y cada cilindro usa combustible aunque el carro no se esté moviendo.

Un motor térmico pequeño como los empleados en los autos híbridos es lo suficientemente potente para mover el carro en la carretera y mantenerlo constante, sin embargo cuando necesita potencia extra como al acelerar del reposo, durante un rebase o al subir una colina, el motor eléctrico puede “asistir” al motor térmico para obtener la potencia extra requerida.

El motor térmico en un auto convencional es dimensionado para el pico de potencia requerido (aquellos casos en los que se pisa a fondo el acelerador). De hecho, la mayoría de los conductores usan menos del uno por ciento de la potencia máxima de sus motores térmicos cada vez que manejan. Los autos híbridos usan un motor térmico más pequeño el cual es dimensionado cercano al de la potencia promedio requerida en vez de ajustarlo al pico de potencia.

Otros métodos para incrementar la eficiencia del combustible (rendimiento) en un sistema híbrido es la recuperación de energía a partir del movimiento del auto cuando se frena por medio del motor eléctrico actuando como generador y almacenando la mayor posible de ésta energía en la batería. También un auto híbrido puede apagar su motor térmico si la batería tiene completa su carga y la demanda de potencia es baja, como cuando el auto está parado por el alto de un semáforo o cuando hay mucho tráfico.

HISTORIA DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS

En 1839, Robert Anderson de Escocia construyó el primer vehículo eléctrico. En 1870 Sir David Salomón desarrolló un carro con luces y motor eléctrico con baterías de almacenamiento muy pesadas, la velocidad de manejo y los rangos eran muy pobres. En 1886, registros históricos revelan que un taxi de potencia eléctrica usando una batería con 28 celdas y un pequeño motor eléctrico fue introducido en Inglaterra. En 1888 la compañía *Immisch* construyó un carruaje de 4 pasajeros, movido por un motor de un caballo de fuerza y una batería de 24 celdas para el Sultán del Imperio Otomano. En el mismo año, Magnus Volk construyó en Inglaterra un vehículo eléctrico de tres llantas. El periodo de 1890 a 1910 es de desarrollos significantes en la tecnología de baterías, especialmente con el desarrollo de la entonces moderna batería de plomo ácido por H. Tudor y la batería de níquel-iron por Edison y Junger. En 1897 la *Pope Manufacturing Company* de Connecticut, EU construyó alrededor de 500 autos eléctricos en un periodo de 2 años. En 1898 el alemán Dr. Ferdinand Porsche a los 23 años de edad, construyó su primer carro llamado *Lohner Electric Chaise*. Fue el primero en el mundo con tracción delantera. El segundo auto de Porsche fue un híbrido para el que usó un motor de combustión interna para hacer girar un generador que proveía potencia a motores eléctricos acoplados en los ejes de las llantas. Con solo la batería, el auto podía desplazar cerca de 40 millas^[12].



Fig. (A1) Imagen del Krieger Hybrid fabricado en 1903

En 1898 la compañía *Electric Carriage and Wagon* de Nueva York tuvo una flota completa de 12 camionetas eléctricas robustas y estéticas. En 1899 la *Pope Manufacturing Company* se unió con dos compañías pequeñas productoras de vehículos eléctricos para crear la *Electric Vehicle Company*, la operación monetaria más grande en la historia de la Industria Automotriz Americana. En el año de 1900 las compañías de autos americanos habían producido 1681 autos de vapor, 1575 eléctricos y 936 de combustión interna. En estas fechas se dio una mayor preferencia por los carros eléctricos e híbridos. El productor de autos Belga, Pieper, introdujo su *voiturette* de 3.5 hp en el cual un pequeño motor a gasolina fue acoplado a un motor eléctrico bajo el asiento. Cuando el auto viajaba a velocidad crucero, el motor eléctrico operaba como generador el cual cargaba las baterías. Pero cuando el auto estaba subiendo una pendiente el motor eléctrico montado coaxialmente con el motor térmico lo auxiliaba.

En 1904 Henry Ford resolvió la mayoría de los problemas que presentaban los automóviles impulsados por gasolina como ruido, vibraciones y olores y comenzó una producción por línea de ensamble haciendo los autos más baratos, ligeros y de impulsión por motor a combustión interna exclusivamente. Después de unos pocos años, la *Electric Vehicle Company* quebró y cerró sus puertas a la producción de éste tipo de vehículos. En 1905 el ingeniero americano llamado H. Piper creó una patente por un vehículo híbrido. Su idea fue usar un motor eléctrico para asistir a un motor a combustión interna permitiéndole alcanzar al vehículo 25 MPH. En ése año el auto eléctrico modelo *Woods Interurban* permitía intercambiar una unidad de potencia eléctrica por un motor de combustión de dos cilindros; claro, tras cincuenta minutos de maniobra lo que ocasionó que quebrara y se descontinuara su producción.

En 1910 se comercializó una camioneta híbrida la cual usaba un motor a gasolina de cuatro cilindros que activaba un generador con lo que se eliminaba la necesidad de la transmisión y el conjunto de baterías. Éste híbrido fue construido en Filadelfia hasta 1918. En 1913 con la ayuda del arrancador integrado (marcha) hacía fácil a los conductores arrancar el motor de combustión y esto provocó prácticamente la extinción de los vehículos a vapor y eléctricos. En éste año las ventas de los vehículos eléctricos cayeron a las 6000 unidades vendidas entre todas las compañías dedicadas a su manufactura, mientras que el modelo "T" de Ford logró ventas por 182,809 vehículos de motor a gasolina exclusivamente.

El vehículo *Owen Magnetic modelo 60* mostrado en la figura (A2), usaba un motor a gasolina para hacer girar un generador que alimentaba a los motores acoplados a los ejes de las llantas traseras.



Fig. (A2) Imagen del auto híbrido "Owen Magnetic Model 60" fabricado en 1921

De 1920 a 1965 fue un periodo letárgico de la producción en masa de autos híbridos y eléctricos. Los llamados autos alternativos se volvieron una curiosidad tecnológica. En 1966 el gobierno de los Estados Unidos introdujo las primeras recomendaciones en el uso de los vehículos eléctricos como un medio para la reducción de las emisiones contaminantes.

En 1969 el auto *GM 512*, un auto híbrido muy ligero corría completamente con potencia eléctrica hasta las 10 *millas por hora* (MPH), de ahí hasta las 13 MPH corría con una combinación de baterías eléctricas y un motor de gasolina de dos cilindros. Por encima de las 13 MPH el auto corría sólo con el motor a gasolina y alcanzaba solamente 40 MPH. Con el embargo del aceite árabe de 1973, el precio de la gasolina se incrementó regresando el interés por los autos eléctricos. El Departamento de Energía de Estados Unidos hizo pruebas en muchos autos

eléctricos e híbridos producidos por diferentes compañías, incluyendo un híbrido conocido como “VW Taxi” producido por la Volkswagen al este de Alemania. El *Taxi* que usaba una configuración híbrida paralela permitía un flexible intercambio entre el motor a gasolina y el motor eléctrico y fue exhibido en Europa y Estados Unidos.

En 1975 la American Motors comenzó el uso de 352 camionetas eléctricas para el servicio postal a modo de prueba. Los Estados Unidos comenzaron un programa gubernamental en el desarrollo de tecnología híbrida y eléctrica. De 1977 a 1979 General Motors invirtió 20 millones en el desarrollo e investigación de autos eléctricos anunciando que los vehículos eléctricos podrían ser comercializados a mediados de los 80's. En 1979 Dave Arthurs de Springdale, Arkansas invirtió 1500 dólares convirtiendo su Opel GT en un auto híbrido que puede obtener 75 Millas por Galón (MPG) usando un motor térmico de 6 hp, un motor eléctrico de 400 amperes y un arreglo de baterías de 6 volts. La revista *Mother Heart News* usó el plan de Arthurs para construir su propio híbrido y obtuvo gran aceptación.

En 1991 el Consorcio de baterías de los Estados Unidos de Norteamérica (*USABC, United States Advanced Battery Consortium*) fue un programa del Departamento de Energía que lanzó un proyecto para producir una “súper” batería para obtener vehículos eléctricos viables lo más pronto posible. El USABC invirtió 90 millones de dólares en la batería de Níquel-Hidruro (NiMH). Ésta batería puede aceptar tres veces más ciclos de carga que las baterías de plomo-ácido y se desempeña mejor en climas fríos. En 1992 la empresa Toyota anunció la publicación de su “*Earth Charter*” donde explicaba los principales puntos para desarrollar y vender vehículos de baja emisión de contaminantes. En 1997 el modelo *Prius* de Toyota salió a la venta al público en Japón. El primer año de ventas se alcanzaron las 18 mil unidades vendidas.

Entre los años de 1997 y 1999 una pequeña selección de autos totalmente eléctricos de las grandes marcas automotrices, como el *EV plus* de Honda, el *EV1* de GM, la *Pickup Ranger* de Ford y el *RAV4 EV* de Toyota fueron introducidos en California, EU. A pesar del entusiasmo de los primeros visionarios de estos vehículos, las ventas fueron de unos cuantos cientos de vehículos por modelo. Al cabo de unos cuantos años, los programas de autos totalmente eléctricos fueron desechados.

En 1999 se desarrolló el modelo *Insight* de dos puertas de Honda, el primer auto híbrido aceptado en las ventas masivas del mercado Norteamericano. Este modelo obtuvo múltiples reconocimientos. Su rendimiento de combustible alcanzó rangos de 61 millas por galón (MPG) en ciudad y 70 MPG en carretera. En el año 2000 Toyota lanzó su modelo Prius en los Estados Unidos, el primer sedán híbrido cuatro puertas disponible en éste país. En el año 2002 Honda introdujo su modelo Civic-hybrid, su segundo modelo híbrido eléctrico-gasolina comercial. La apariencia y manejo del Honda Civic-hybrid fue y sigue siendo idéntico al del modelo convencional aunque con un mucho mejor rendimiento de gasolina.

En el año 2004 el modelo de Toyota, Prius II, ganó el premio del Mejor auto del año por la revista *Motor Trend* y el *North American Auto Show*. La sorpresiva demanda de éste modelo presionó a Toyota a elevar su producción de 36000 unidades a 47000 para el mercado Norteamericano. En Septiembre de éste año, Ford lanzó su modelo *Escape Hybrid*, el primer híbrido americano y el primero tipo SUV híbrido.

CAPÍTULO 1

LOS SISTEMAS HÍBRIDOS

En éste capítulo se presenta información que describe las diferencias y virtudes de los diferentes tipos de Sistemas Híbridos.

1.1 TIPOS DE SISTEMAS HÍBRIDOS

Los vehículos híbridos se pueden clasificar de dos formas según la configuración con que se dispongan sus dos subsistemas, como se había mencionado antes, en lo que se llama configuración *Serie* y configuración *Paralela*, de las cuales se comenta a continuación.

1.1.1 SISTEMA HÍBRIDO TIPO SERIE

Un vehículo híbrido configuración *Serie* se caracteriza porque el motor térmico se emplea únicamente para generar la energía eléctrica que recargue el almacén (baterías) o surta la energía necesaria que luego es consumida por el motor eléctrico. En éste tipo de configuración el motor térmico se acopla a un generador que nos proporciona la energía suficiente para que uno o varios motores eléctricos mantengan la marcha normal del vehículo. En ésta configuración, el trabajo para obtener el movimiento del vehículo es generado únicamente por el motor eléctrico. En la figura 1-1 se muestra la configuración en *Serie* mediante un diagrama de bloques, mostrando los principales sistemas que lo componen.

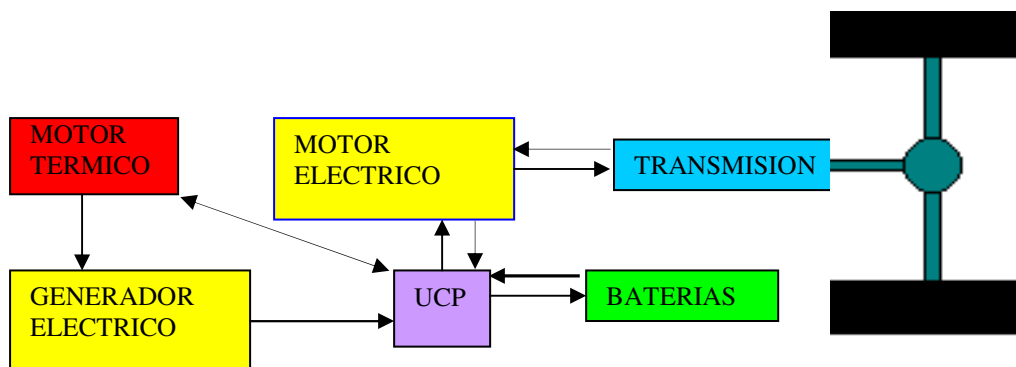


Fig. 1-1 Representación de una configuración en serie mediante el diagrama de bloques, los principales sistemas que lo integran son: Motor térmico, Generador eléctrico, UCP Unidad de Control de Potencia, Motor eléctrico, Baterías y la Transmisión.

Las principales ventajas que se destacan para este tipo de configuración en serie son:

- El motor térmico no trabaja nunca al vacío, reduciendo así las emisiones contaminantes
- El grupo motor - generador trabaja en el punto para el que ha sido diseñado, lográndose un rendimiento óptimo.
- Se permite una gran variedad de emplazamientos del grupo motor térmico-generador y del motor o motores eléctricos, ya que no es necesaria una transmisión mecánica motor térmico – ruedas.
- En algunos casos podemos evitarnos la transmisión mecánica, eliminando así una de las causas que reducen la eficiencia del sistema y disminuyendo el peso del vehículo.
- Modos de funcionamiento: El motor térmico puede estar trabajando o no y el motor eléctrico puede estar en carga (modo generador) o en descarga (modo motor).

1.1.2 SISTEMA HÍBRIDO TIPO PARALELO

Un vehículo híbrido de configuración paralelo se caracteriza porque el motor térmico, el generador y motor eléctrico están acoplados entre sí y con la transmisión mecánica a las ruedas. Ambos motores, térmico y eléctrico pueden trabajar simultáneamente contribuyendo al movimiento del vehículo o de forma tal que el motor térmico mueva el generador eléctrico, mientras que el motor eléctrico funcione como generador extrayendo energía de las llantas para cargar las baterías. El motor térmico puede entonces contribuir directamente a la transmisión de potencia a las ruedas, como en un automóvil convencional actual, o mover al generador que produce la electricidad que carga las baterías. Este tipo de configuración, la configuración paralela, a diferencia de la configuración serie debe ser capaz de soportar diversos modos de funcionamiento y de suministrar mayor potencia. En la figura 1-2 se muestra la configuración en paralelo mediante un diagrama de bloques, también se mencionan los principales sistemas que lo integran.

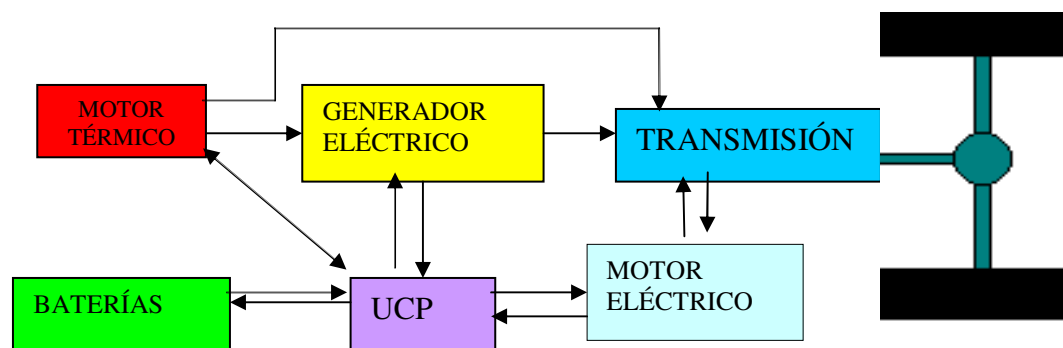


Figura 1-2 Representación de la configuración en paralelo mediante un diagrama de bloques, los sistemas que lo integran son: Motor térmico, Generador eléctrico, Transmisión, Baterías, Controlador UCP y el Motor eléctrico.

Para este tipo de configuración en paralelo se destacan las siguientes ventajas, las cuales se mencionan a continuación:

- El vehículo será más potente debido que ambos motores pueden trabajar juntos simultáneamente, tanto el eléctrico como el térmico.
- La mayoría de los vehículos configurados de esta manera no necesitan un generador, lo cual constituye ya un ahorro en cuanto al costo y espacio.
- La potencia ejercida por el motor térmico va directamente transmitida a las ruedas. Por lo que todo el conjunto puede ser más eficiente.

Este tipo de configuración, a diferencia de la configuración serie debe ser capaz de soportar diversos modos de funcionamiento como son:

- Motor eléctrico y Térmico generando potencia para las ruedas
- Motor eléctrico generando potencia, y motor térmico en reposo
- Motor térmico generando y motor eléctrico cargando las baterías
- Motor térmico en reposo y motor eléctrico cargando las baterías

1.2 VENTAJAS DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS

A continuación se mencionan algunas de las ventajas que se han observado en los vehículos híbridos respecto a los autos eléctricos o los autos convencionales.

1.2.1 VENTAJAS DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS VS. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

- Incremento de autonomía, ya que ésta depende del combustible almacenado en el tanque.
- Alto y uniforme rendimiento incluso a bajas temperaturas.
- La unidad auxiliar no funciona continuamente, ya que se desactiva automáticamente cuando no es necesaria.
- Se elimina la necesidad de recargar las baterías cuando estas se agotan en una fuente externa de suministro.
- El motor de combustión interna funciona bajo un estrecho margen de carga y velocidad, lo que incrementa su eficiencia.
- Este sistema de propulsión pesa alrededor de una cuarta parte como mucho de lo que pesa un vehículo de baterías eléctricas, que debe arrastrar media tonelada de baterías bajo el piso.

- Los vehículos híbridos ofrecen así las ventajas de la propulsión eléctrica sin las desventajas de las baterías.

1.2.2 VENTAJAS DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS VS VEHÍCULOS CONVENCIONALES.

- Son capaces de obtener una eficiencia del doble con respecto a los modelos convencionales, lo que se consigue por la supresión de la mayor parte de las pérdidas de potencia que se producen en éstos últimos.
- El sistema de frenado en un auto híbrido tiene la capacidad regenerativa de recuperar una parte de la energía cinética del auto durante el frenado, energía que en los autos convencionales se desperdicia en su totalidad.
- El motor térmico en los autos híbridos se dimensionan solo para una potencia promedio, ya que los picos de potencia los proporciona la fuente de energía alternativa. Esto además permite que el motor funcione siempre en su punto óptimo o muy cerca de él. Por ello su eficiencia resulta doblada, pudiéndose aligerar el peso y volumen hasta en un 90% respecto a los autos convencionales.
- El motor térmico puede desactivarse durante la marcha del auto híbrido cuando no se necesita.
- La eficiencia del combustible se incrementa notablemente, lo que se traduce en reducción de las emisiones y economía del combustible.

Una gran ventaja de los híbridos en general es que pueden recuperar parte de la energía cinética del vehículo (proceso llamado *Frenada regenerativa*) que actualmente en los vehículos convencionales (que se mueven a base del motor térmico exclusivamente) acaba derrochándose en los procesos de frenado o descenso de pendientes, transformándose en calor inútil que es perjudicial en los frenos de balatas por fricción pues disminuye su efectividad volviendo peligroso el vehículo. Cuando se suelta el acelerador o pisa el freno de un auto híbrido se activa al motor eléctrico como generador, convirtiendo el momento de inercia en corriente eléctrica que recarga las baterías, liberando de trabajo a las balatas de frenado alargando su tiempo de vida útil. En el caso de moto-generadores instalados en las ruedas, a la vez que las impulsan, recuperan parte de la energía del frenado (entre un 50% - 70%), transformándola de nuevo en electricidad, o almacenándola en un "supervolante" de inercia fabricado en fibra de carbono. Este dispositivo permite el uso inmediato de esta energía recuperada, al ser aplicada en la aceleración o subida de cuestas, y se está demostrando muy provechoso en la conducción por ciudad^[12].

1.3 DISPOSITIVOS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS

A continuación se muestran y describen los principales dispositivos componentes de los Sistemas Híbridos. En los autos convencionales tenemos por ejemplo el Motor de combustión interna y la transmisión mecánica, pero en los autos híbridos tenemos algunos más.

1.3.1 LA TRANSMISIÓN MECÁNICA DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO

La transmisión se encarga de llevar el movimiento desde los motores hasta las ruedas y desde el motor térmico al generador según la configuración empleada. El sistema varía dependiendo de cada vehículo. En los vehículos serie sólo el motor o los motores eléctricos tienen que transmitir el movimiento a las ruedas. Si se usa un solo motor eléctrico hace falta diferencial para compensar la diferencia de velocidad lineal de las ruedas en las curvas, pero si se usan dos motores o incluso cuatro, uno en cada rueda, no hace falta diferencial con lo que se simplifica la parte mecánica aunque se complica el control. No hace falta caja de cambios ya que se puede controlar totalmente la velocidad del motor, pero sí se suelen usar reductores fijos para adaptar las revoluciones y par del motor al eje motriz.

En los híbridos paralelos la transmisión es más complicada ya que tanto el motor térmico, como el eléctrico tienen que transmitir el movimiento a las ruedas. Se pueden conectar directamente al mismo eje el motor eléctrico y el térmico a través de las apropiadas reducciones fijas y este eje se conecta al eje motriz a través de un diferencial. Si se utiliza un generador independiente también tendrá que estar conectado a este eje común o conectarse al otro extremo del generador con algún mecanismo como una correa, por ejemplo.

Además el motor térmico podría desacoplarse de la transmisión cuando el vehículo funcione solo con el motor eléctrico mediante un embrague electromagnético para que pueda ser controlado por el sistema de control. El motor eléctrico y el alternador no hace falta desconectarlos de la transmisión, basta con desconectarle la alimentación con lo que no circulará corriente eléctrica por ellos y no producirán par resistente.

Otra posibilidad en los Híbridos paralelos es usar el motor térmico en la tracción de un eje (el delantero por ejemplo) y el motor eléctrico en el otro, con lo que la conexión entre ambos motores la realiza la carretera.

El sistema de tracción híbrido-eléctrico supone un profundo cambio en relación con los automóviles actuales. El sistema de tracción de un automóvil convencional consiste en un motor de combustión interna mecánicamente acoplado al tren motriz mediante un embrague, una caja de cambios y un diferencial con sus juntas homocinéticas. La eficiencia de este

sistema de tracción se ve perjudicada, además de su peso, porque el motor térmico debe proveer una potencia variable.

La máxima eficiencia de un motor se obtiene en unas determinadas condiciones de funcionamiento, con una carga y una velocidad de giro fijas. Cuando una de estas o las dos varían, este rendimiento baja sensiblemente. En un recorrido convencional las condiciones de velocidad y carga de un vehículo clásico deben variar necesariamente, por lo que es obligado sobredimensionar ampliamente el motor térmico para que sea capaz de responder a estos cambios sin que disminuyan drásticamente las prestaciones.

La eficiencia del sistema de tracción convencional puede mejorarse notablemente incorporando un sistema híbrido – eléctrico, muy parecido al que incorporan los vehículos eléctricos, impulsados por baterías que mueven sus motores eléctricos, pero con la diferencia de que este sistema incorpora un pequeño A. P. U. (del inglés Auxiliary Power Unit) que es un motor de combustión interna u otro dispositivo auxiliar cuya función es generar la electricidad para alimentar estas baterías de forma eficiente.

1.3.2 MOTOR ELÉCTRICO

El **motor eléctrico** y su mecanismo de control es una de las piezas fundamentales para cualquier vehículo híbrido. Debe ser capaz de generar electricidad o de generar potencia mecánica de manera que se ajuste rápidamente a las necesidades del coche. Además debe de hacerlo de forma que su eficiencia sea elevada.

En un sistema eléctrico de propulsión es el controlador del motor eléctrico el que regula el potencial (voltaje) y la intensidad de la corriente eléctrica que se le hace llegar al motor. Tomando una señal del acelerador debe ser capaz de interpretar lo que se le pide al vehículo y actuar en consecuencia.

Otra de las características del motor eléctrico de un auto híbrido es que debe tener la capacidad de actuar como generador en los momentos en los que sea necesario. Por ejemplo, durante la bajada de una colina con nuestro vehículo el motor debe actuar frenando el vehículo y almacenando la energía cinética del mismo en la batería eléctrica.

Las dos posibilidades existentes en cuanto a motores eléctricos son el uso de los de corriente continua (CC) o de corriente alterna (CA). Dejando al margen los problemas relativos a la transformación de la energía eléctrica almacenada, y al formato necesario para su uso en función del motor que queramos utilizar, vemos que las eficiencias de los dos tipos de motores antes nombrados se comportan de forma distinta siendo los de corriente alterna más eficientes y ligeros aunque su control es muy complicado, por otro lado, los motores de corriente continua son fáciles de controlar pero son más pesados y menos

eficientes. La elección dependerá del tipo de configuración que se haya elegido, así como de la velocidad de respuesta exigida al vehículo y de la velocidad de nuestro sistema de control.

Los motores de corriente continua son del tipo de motores utilizados en el pasado para las aplicaciones de velocidad variable con motores eléctricos. Sin embargo, gracias al desarrollo de la electrónica de potencia se están imponiendo en la actualidad los motores de corriente alterna. El control de los motores de corriente continua se realiza de forma fácil y sencilla, por lo que los controladores son muy baratos.

Por otro lado, los motores de corriente alterna necesitan para su manejo y control a velocidad variable, instrumentos de electrónica de potencia que logren variar la frecuencia de la señal que le llega al motor. Por lo tanto, los controladores para este tipo de motores son, por lo general, más caros que los de corriente continua, por el contrario, el motor de corriente alterna en sí mismo es más pequeño y ligero.

En cuanto a la eficiencia de los distintos tipos de motor, podemos ver cómo el motor de corriente alterna resulta mucho más eficiente en un mayor rango de velocidades y momentos que el de corriente continua, ganando este último en eficiencia únicamente en los casos de alta velocidad y alto momento. Será por lo tanto mejor el motor de corriente continua para utilizarlo sólo como generador en el caso de configuración serie.

Un variador de frecuencias (VFD Variable Frequency Drive) es un sistema de control de la velocidad rotacional de un motor eléctrico de corriente alterna de modo que varía la frecuencia del voltaje con que se alimenta dicho motor para controlar su velocidad.

El variador de frecuencias opera bajo el principio que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna está determinada por la frecuencia del voltaje suministrado y por el número de polos en el estator de acuerdo a la relación:

$$RPM = \frac{120 \cdot f}{p}$$

Donde :

RPM = revoluciones _ por _ minuto

f = frecuencia _ del _ voltaje _ suministrado

p = número _ de _ polos

Un variador de frecuencias generalmente consiste de una interfase y un controlador conectado a un motor de CA, como se muestra en la Figura 1-3.

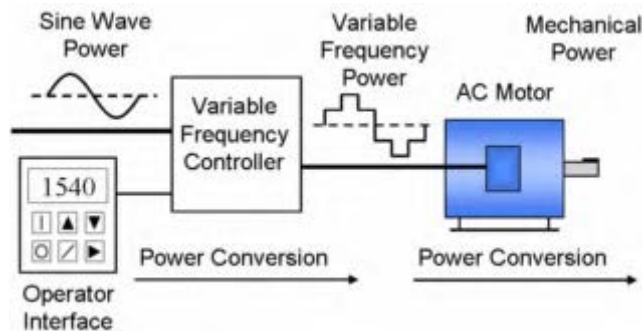


Fig. 1-3 Esquema de entradas y salidas de un Variador de frecuencias para un motor eléctrico de corriente alterna.

El motor eléctrico de corriente alterna generalmente empleado, es un motor de inducción trifásico. Algunos tipos de motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son ideales para la mayoría de los proyectos y son generalmente la elección más económica. Motores diseñados para velocidad fija son comúnmente usados, aunque ciertos requerimientos a los diseños de motores estándar ofrecen alta rentabilidad para un mejor desempeño del Variador.

El controlador se basa en dispositivos electrónicos de estado sólido para la conversión de potencia. El diseño usual primero convierte la entrada de potencia intermedia de corriente directa (DC) de la o las baterías en una señal quasi-senoidal usando un circuito inversor de pulsos. Modelos de baja potencia son configurados para uso con una sola fase, ver la Figura 1-4.

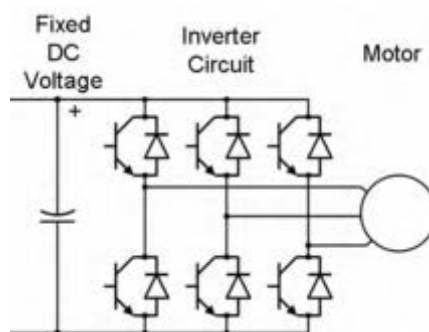


Fig. 1-4 Esquema eléctrico simplificado del controlador de un motor trifásico de corriente alterna.

Por las características de los motores de corriente alterna AC, éstos requieren que el voltaje aplicado sea proporcionalmente ajustado cuando la frecuencia se cambia. Por ejemplo, si el motor es diseñado para operar a 460 volts y 60 Hz, el voltaje aplicado se debe reducir a 230 volts cuando la frecuencia es reducida a 30 Hz. Entonces la razón de volts entre hertz debe ser regulada a un valor constante ($460/60=7.67$ en este caso). Para un óptimo desempeño algún ajuste de voltaje mas preciso es recomendable, aunque el cálculo anterior es la regla general. El método actual para ajustar el voltaje r.m.s. del motor de CA es el llamado modulación de ancho de pulso ó PWM por sus siglas en inglés, ver Figura 1-5.

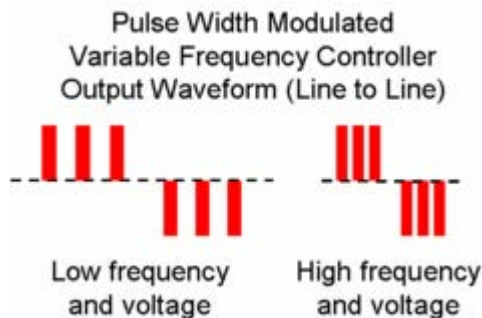


Fig. 1-5 Señal de voltaje de salida del Variador de frecuencias con modulación de ancho de pulso.

1.3.3 ALMACÉN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Los sistemas de almacenaje de energía eléctrica son en la actualidad el gran problema que presentan los coches eléctricos. Con los sistemas existentes actualmente la autonomía de los vehículos eléctricos queda muy reducida. Además la recarga de las baterías (que es el medio de almacenaje más utilizado hasta ahora) implica mucho tiempo lo que hace incómodo su uso. El almacenaje de energía eléctrica ocupa mucho espacio en el interior del coche y por lo general son dispositivos muy pesados. En la actualidad ningún sistema resulta tan eficiente desde el punto de vista de almacenaje de energía como los combustibles líquidos.

Esta es una de las principales ventajas de los coches híbridos, que combinan la alta capacidad energética de los combustibles con las ventajas de los coches eléctricos en cuanto a economía y máxima eficiencia.

Las *baterías* son el sistema clásico de almacenamiento de energía eléctrica. En ellas se utilizan reacciones químicas reversibles.

Ventajas: La tecnología de desarrollo de las baterías es una tecnología madura en comparación con su estado hace algunos años. Además se sigue investigando de forma muy activa para aumentar la eficacia de las mismas.

Inconvenientes: Las baterías formadas por nuevas aleaciones son extremadamente caras y completamente inviables para su comercialización en la actualidad. Además, la mayoría de las baterías tienen un ciclo de vida mucho más corto que el del conjunto de coche en donde las situamos, lo que hace necesaria una cara sustitución.

Para las baterías de tracción se dispone realmente de dos tipos:

1. Plomo-ácido: barata y fiable pero pesada y de baja capacidad.
2. Níquel-Cadmio: Más costosa pero su mayor rendimiento y potencia específica la hacen más adecuada.

En la Tabla 1-1 se muestran los diferentes tipos de baterías, así como su utilización.

Tipo de batería	Coste (€/Kwh.)	Energía específica (Wh/Kg.)	Potencia específica (W/Kg.)	Carga/descarga (ciclos)	Eficacia (%)	Aplicaciones principales
Carbono/Cinc	200	65		-----		Linternas, transistores, juguetes y juegos
Litio	1000	260		-----		Calculadoras, abridores de puertas de garaje, equipo fotográfico
Alcalina/manganeso				-----		Aplicaciones alcalinas, walkman, juguetes
Mercurio	800	105				Relojes, calculadoras, artículos electrónicos
Cinc/ácido		100	100		50	Lámparas, juguetes, equipos médicos
Plomo/ácido	400	35	100	300-400	70-80	Coches, suministros de energía de emergencia
Ion Li	2000	200	300	>1000	98	Artículos electrónicos, productos electrónicos portátiles
Ni-hidruro	1200	100	200	500	75	Productos electrónicos portátiles
Ni-Cd	800	1000	50	1000-3000	60-85	Juguetes, lámparas, artículos electrónicos, equipo electrónico portátil
Azufre y sodio		150	170		60-90	-----
Na/NiCl2		90	110	>110	90	-----
Polímero		200	400	100	60	Productos electrónicos portátiles

Tabla 1-1 Características y usos de los principales tipos de baterías disponibles actualmente.

1.3.4 MOTOR TÉRMICO

El motor térmico de un coche híbrido, tiene como función principal convertir la energía química liberada al quemar un combustible en energía cinética que aprovecharemos para mover las ruedas o para generar energía eléctrica.

Recordando la clasificación inicial que le hacíamos a los coches híbridos vemos que tendremos dos situaciones claramente diferenciadas:

1. Para los *vehículos híbridos en serie* se tiene el motor térmico conectado a un generador y en la mayoría de los casos el sistema estará preparado para trabajar a una velocidad determinada, independientemente de la variación en la velocidad del coche. Por tanto este tipo de motores no tendrán que trabajar fuera de sus condiciones óptimas más que en los transitorios de arranque y paro. Será por lo tanto un motor que no necesariamente tenga que soportar los transitorios del vehículo.

2. Para el caso de *vehículos híbridos en paralelo*, existe una transmisión directa entre las ruedas y el motor por lo que las variaciones en el ciclo repercutirán directamente en el régimen de giro del motor. En este caso el grupo formado por el motor- generador debe ser capaz de cambiar rápidamente y de forma conjunta el régimen de trabajo para que el vehículo responda adecuadamente a los requerimientos que se le hagan.

Un *motor de encendido provocado* es el clásico motor de gasolina que trabaja sobre el ciclo de Otto. Es muy similar a los motores de gasolina usados en la actualidad. Sin embargo no podemos olvidarnos de que sería un motor mucho más pequeño que el usado actualmente, ya que únicamente sería utilizado para generar la potencia media requerida del vehículo, encargándose el motor eléctrico del resto.

Ventajas: El motor de ciclo Otto ha sido el más utilizado en el pasado y por lo tanto es el motor sobre el que más se ha trabajado y más se ha investigado. Un siglo de ajustes y trabajos acerca de este tipo de motor ha hecho que sea en el presente una de las máquinas más precisas. En la actualidad, y gracias a los avances tecnológicos, la contaminación que estos motores producen es mucho menor que hace 20 años y gracias a la enorme producción de estos motores su costo se ha reducido considerablemente.

Desventajas: El motor de gasolina produce contaminantes que resultan difíciles de controlar con un bajo costo. El sistema de control de estos motores, basado en el estrangulamiento del aire a la entrada, así como la gran cantidad de piezas móviles, hace que la eficiencia disminuya. Otro factor que hace que disminuya la eficiencia de este motor es la razón de compresión, que nos viene limitado por el octanaje de la gasolina.

El *motor diesel* tiene el mismo aspecto que el motor de gasolina, sin embargo su diferencia está en el proceso de alimentación, ya que el combustible no viene premezclado con la gasolina. Esto hace que se le pueda aumentar su razón de compresión. Resumiendo, este tipo de motor tiene las siguientes ventajas e inconvenientes.

Ventajas: El motor diesel ha sido usado desde hace muchos años y también se encuentra muy optimizado. Además por su constitución tiene características que hacen que sea más eficiente que el motor de gasolina, por ejemplo, el paso del aire no está impedido y la inyección del combustible se realiza en el interior del pistón, en el momento en que queremos que comience la ignición, esto hace que sea posible aumentar la relación de compresión y, a su vez, el par motor a bajas revoluciones.

Desventajas: Debido a las características antes mencionadas el motor diesel es muy pesado ya que sus paredes tienen que estar preparadas para soportar las altas presiones que el fluido ejerce en el interior del cilindro. Así mismo el motor diesel es más ruidoso que el de gasolina y provoca mayores vibraciones. Otro problema de los motores diesel con respecto a

los de gasolina es su mayor emisión de contaminantes, como los producidos cuando se trabaja altas cargas como los óxidos de nitrógeno que se producen por la alta temperatura alcanzada en el interior del cilindro.

La *turbina de gas* trabaja en un ciclo de Brayton. En este ciclo, un compresor generalmente de flujo radial incrementa la presión y la temperatura de un fluido que posteriormente es quemado, aumentando su presión y su temperatura. Finalmente el fluido es conducido a una turbina donde se expande y enfría, produciendo un trabajo mecánico. Cuando esta turbina se encuentra directamente acoplada a un generador, el grupo se denomina Turbo-generador. El control del trabajo se realiza mediante el incremento o disminución de la cantidad de combustible quemado. La mayoría de las turbinas tienen una caja de cambios para trabajar a media carga o para mejorar los transitorios de encendido y apagado.

Ventajas: La principal ventaja de las turbinas es su gran relación potencia – tamaño, lo que hace que sean muy ligeras para implementarse en los coches. Además, su sistema de funcionamiento, basado en un rotor único al que van acopladas las etapas fijas de turbina y compresión hacen que tengamos una única parte móvil, que además trabaja sin desequilibrios. Lo cual elimina las vibraciones de los motores alternativos.

Las turbinas pueden trabajar con una gran cantidad de combustibles debido a la continua combustión existente en su interior. Así desaparecen los problemas relativos al inicio y duración de la combustión que aparecían en los motores alternativos. Además, gracias también a esta combustión completa se logran tasas de contaminación realmente bajas.

Desventajas: La principal desventaja de las turbinas es su alto coste de fabricación, debido a su complicado diseño. Además, en las turbinas, los cambios de régimen se producen de manera mucho más lenta que en los motores alternativos, lo que hace que sea difícil su empleo en automóviles debido a las rápidas variaciones que en el eje se requieren para los vehículos.

Finamente, la eficiencia de las turbinas sólo es comparable a la de los motores alternativos cuando estamos trabajando a plena carga. Además, es necesario utilizar regeneradores para incrementar su rendimiento, lo que hace que se incremente su coste y complejidad.

Un *motor basado en el ciclo de Stirling* es un motor térmico de combustión externa en el que la transmisión de calor y su evacuación tienen lugar a temperaturas constantes. El ciclo Stirling es el ciclo ideal de producción de trabajo y aunque hasta hace unos años casi no tenía aplicaciones, en los últimos tiempos se está volviendo a investigar acerca de sus utilidades, comenzando a ser utilizado en numerosos equipos, tales como producción de energía

eléctrica solar en satélites, en submarinos y últimamente se está estudiando su utilización en vehículos híbridos. Pero en la actualidad sus usos están poco desarrollados

Ventajas: Teóricamente el ciclo Stirling tiene la más alta eficiencia posible. Debido a que es un ciclo de combustión externa se pueden utilizar gran variedad de combustibles y se puede controlar de forma muy eficaz las emisiones que producen. Incluso se podría utilizar la energía solar como fuente de calor, aunque esto presente innumerables problemas. Además, aunque es un motor alternativo, los ruidos y vibraciones producidos son mínimos.

Desventajas: Como inconvenientes a este ciclo cabe resaltar la poca experiencia adquirida hasta el momento en este tipo de motores, así como la escasa potencia específica alcanzada por este tipo de motores, el gran tiempo de respuesta que tienen frente a cambios en la carga o en el requerimiento y las grandes superficies de intercambio que son necesarias para su funcionamiento eficiente.

1.3.5 VOLANTES DE INERCIA

Las *ruedas volantes de inercia* son unos discos con una alta masa específica en los que almacenamos energía cinética en forma de rotación. Funcionan como un rotor de un motor que genera electricidad a costa de la energía cinética de rotación que tiene el disco y, a su vez almacena la energía en forma de energía cinética aumentando la velocidad de giro del disco.

Ventajas: Esta forma de almacenar la energía resulta muy eficiente. Además es capaz de entregar la energía que tiene almacenada de forma más rápida que las baterías.

Inconvenientes: Actualmente este tipo de sistemas todavía tienen una baja energía específica, y existen problemas de seguridad debido a la posibilidad de que se pierda el control sobre un disco que permanece girando a tan altas revoluciones por minuto. Otro tipo de problemas que se plantean son los relativos a los efectos giroscópicos del disco que pueden desestabilizar el coche.

1.3.6 SISTEMA DE CONTROL

El auto híbrido de cualquiera de los tipos explicados y con cualquier configuración que escojamos tiene un *sistema de control* cuya misión es la de regular el funcionamiento de los dos motores o más de nuestro vehículo. Es decir, decide cuando entran en funcionamiento y cuando paran o la sintonía de trabajo entre ambos.

La estrategia de control de nuestro vehículo ha de tener en cuenta las características de los sistemas de almacenamiento de electricidad y de los motores que lleve instalados el

vehículo, conocer el estado de todas las variables que influyan en su control y, finalmente utilizar una estrategia que de prioridad a unos u otros factores para generar unos flujos de potencia de acuerdo con los requerimientos del usuario.

Como se ha explicado, las mayores diferencias entre los métodos de control serán las dependientes de si la composición del vehículo es Serie, Paralelo o una combinación de los anteriores. Una composición combinada de los dos sistemas es la que nos permitiría que el motor térmico y eléctrico trabajen para mover las ruedas o que el motor térmico trabaje para mover las ruedas y cargar la batería a la vez.

Otra posible distinción entre las distintas estrategias de control de un coche híbrido, fijándonos en los ciclos de carga de las baterías, es:

- La primera consistiría en dejar que la batería se descargue mientras el coche rueda por encima de la media de velocidad hasta que las mismas podrían quedar descargadas. Esto ocurre si no queremos que el motor térmico salga de la zona óptima de funcionamiento más que si es imprescindible. O si el motor térmico está calculado exactamente para la velocidad media.
- La segunda posibilidad es la de que tengamos un motor lo suficientemente potente para que, si es necesario, se pueda aumentar el nivel de carga de la batería aún conduciendo con más carga de la estipulada.

De todas las posibles estrategias de control de un vehículo híbrido, debemos tratar de encontrar aquella que:

- Ahorre la mayor cantidad de combustible.
- Haga mínimas las emisiones de contaminantes.
- Haga lo anterior manteniendo las características técnicas de nuestro vehículo de acuerdo con las exigencias del mercado, haciendo que nuestro coche sea competitivo con los tradicionales

La única manera de que todo lo anterior sea posible es diseñar conjuntamente los parámetros de funcionamiento y los motores de tal forma que estén perfectamente compenetrados.

En estos ejemplos se puede apreciar la gran cantidad de posibilidades que tenemos:

1- Modelo Paralelo con asistencia eléctrica: Este modelo utiliza como fuente principal de energía mecánica el motor térmico. El motor eléctrico trabaja únicamente como una ayuda al motor térmico para que aumente la potencia en los momentos en que sea necesario. Liberando al motor térmico de trabajar en zonas muy ineficientes.

2- Modelo Paralelo con asistencia térmica: En este caso es el motor eléctrico el que funciona como motor principal, dejando que el motor térmico únicamente se encienda en los momentos de máxima carga o cuando las baterías se han descargado. Este es el sistema que más utiliza la energía eléctrica, y por tanto suele ser el más económico, a no ser que el motor térmico, al encenderse tenga que estar trabajando mucho tiempo a elevadas cargas, ya que entonces los motores resultan muy ineficientes.

3-Modelo termo-estático en serie: El objetivo de este modelo es el de trabajar con energía eléctrica, mientras que las baterías se descarguen hasta que llegue un punto de baja carga en el que el motor térmico y el generador se enciendan cargando la batería hasta que el nivel vuelva a ser alto. Momento en que el generador se apaga. El nombre de este sistema de control proviene de la afinidad que posee con los termostatos utilizados en la climatización. La principal ventaja de este sistema es que si el motor térmico está bien dimensionado puede permanecer todo el tiempo que permanece encendido en sus condiciones de funcionamiento óptimas, es decir, con la mayor eficiencia.

4.- Modelo serie de carga a nivel: Este modelo pretende suministrar la potencia media requerida por el motor gracias al motor térmico y utilizar el motor eléctrico para suministrar los picos de potencia que requiere el motor térmico bajo condiciones de máxima carga. La ventaja de este tipo de vehículo híbrido es que el tamaño de las baterías puede ser relativamente pequeño. Y su desventaja es que el motor térmico tiene que trabajar en gran cantidad de puntos de funcionamiento y esto hace que se pierda eficiencia.

Tendremos un nuevo campo de posibilidades, como por ejemplo, que el coche aprenda nuestra forma de conducción de tal forma que se minimice el consumo de combustible, o también podremos programar el coche para que se caliente unos minutos antes de la puesta en marcha, para hacernos más cómodos los primeros minutos de conducción. Finalmente se podría alternar el modo de conducción entre los siguientes estados:

Conducción deportiva, es decir, cargar al máximo las baterías y tratar de mantenerlas a ese nivel para que sea posible utilizar una gran cantidad de potencia cuando sea requerida.

Para los usuarios que quieran *ahorrar combustible* se puede programar la conducción de tal manera que los distintos componentes se encuentren en la zona de máxima eficiencia la mayor parte del tiempo.

Si estamos en el caso de *trayectos largos*, se puede ordenar al vehículo que comience a cargar las baterías antes de que se gasten del todo, para poder así tener una reserva de energía para cuando sea necesario.

O si se trata de un vehículo usado generalmente en *ciudad* se debería programar de tal forma que funcione de forma eléctrica la mayor parte del tiempo, utilizando el motor térmico

únicamente cuando las baterías del motor eléctrico se hubiesen descargado o en trayectos largos. Esto haría que el coche se comportase a diario como un coche eléctrico, que podríamos recargar a través de la red.

1.4 PRINCIPALES PÉRDIDAS DE ENERGÍA

Empezaremos por analizar las pérdidas de energía de un coche normal. La energía proporcionada por el combustible se pierde en su mayor parte en el motor térmico que pierde el 65% de la energía en forma de calor que como mucho se aprovecha para la calefacción interior de vehículo.

Otras causas de la pérdida de energía son los engranajes de la transmisión, que debido a su complicación tienen unas pérdidas considerables del 6%, y los accesorios del vehículo, como son los faros, radio, etc. consumen el 2%. Hay que tener en cuenta que el aire acondicionado del vehículo elevaría mucho el consumo al estar conectado. Además, en la circulación normal por la ciudad se producen unos tiempos en los que el motor está encendido sin producir trabajo útil con lo que se generan unas pérdidas que podemos cifrar en torno al 11%^[8].

Como conclusión se observa que la cantidad de la energía del combustible que en realidad se emplea para mover el coche es el 16% de la suministrada por el combustible. Como se puede comprobar, el coche dista mucho de ser un sistema eficiente.

Comparemos los datos vistos anteriormente con los obtenidos en un prototipo de vehículo híbrido serie para ensayos realizados en ciudad. En esta situación el ahorro que se produce es del 50% del total del combustible que gastábamos en el primero de los casos; es decir, que consumimos la mitad del combustible con el mismo trabajo realizado. En este caso pese a que el trabajo que llega a las ruedas es el mismo, tenemos un considerable ahorro debido sobre todo a que los frenos nos devuelven energía al actuar. El motor térmico trabaja en un régimen constante independientemente de la velocidad del coche, eliminando los gastos cuando el motor se encuentra encendido y el coche en reposo.

Así pues, con esta configuración se logra un ahorro del 50% del combustible, y posiblemente si utilizamos un motor eficiente en esas condiciones los contaminantes emitidos serán casi nulos.

1.5 ESTUDIO COMPARATIVO DE AUTOS HÍBRIDOS COMERCIALES

Actualmente muchos fabricantes de automóviles tienen en marcha su propio diseño de vehículo híbrido eléctrico. En Suiza se han construido vehículos híbridos experimentales con un peso inferior a los 340 Kg. Honda fue uno de los primeros fabricantes en poner a la venta vehículos híbridos. Lo hizo en el mercado norteamericano en el año 1999, con un vehículo dotado de una unidad híbrida, con componentes del bastidor, suspensión y paneles en plástico y aluminio, y aerodinámica mejorada. Su consumo se especificó en menos de 3.4 Litros por cada 100 Km. en recorrido mixto carretera-ciudad.

El tren de potencia híbrido será la última versión del tipo IMA (*Integrated Motor Assist*), empleando un motor VTEC muy aligerado, de combustión pobre y sistema de inyección directa de 1 litro de desplazamiento y 3 cilindros, en combinación con un cambio manual de cinco velocidades, con un moto-generador sin escobillas y un grupo de baterías que conjuntamente mejorarán la eficiencia y prestaciones del motor de gasolina.

Otra variante estará equipada con una transmisión continuamente variable (CVT) que ayuda a mantener tanto al motor térmico como al moto-generador eléctrico en sus velocidades de rotación más ventajosas, además de ultra condensadores ligeros y de larga duración.

Los aspectos relativos a la seguridad, equipamiento, servos, etc, estarán a la altura de los automóviles de gama alta. La unidad de gestión de potencia (*Power Drive Unit* por sus siglas en inglés) es un dispositivo electrónico integrado que controla la operación de los moto-generadores y el ultra condensador.

1.5.1 HONDA INSIGHT

El Honda Insight, el cual fue introducido en el año 2000 en los Estados Unidos, fue diseñado para obtener el mejor rendimiento de gasolina posible. Éste modelo es pequeño, ligero, biplaza y con un pequeño y eficiente motor térmico. En la figura 1-6 se muestra una imagen de éste vehículo.



Fig. 1-6 Vista del modelo Insight de Honda.

Éste auto es un híbrido paralelo simplificado, tiene un motor eléctrico acoplado al motor térmico en el lugar donde usualmente va el volante de inercia, tiene una transmisión manual de cinco velocidades o una transmisión variable continua (CVT).

El motor eléctrico del Insight tiene varias funciones:

- Asiste al motor térmico, dando potencia extra mientras el carro acelera o sube una pendiente.
- Provee la frenada regenerativa para capturar energía durante el frenado.
- Arranca el motor térmico eliminando la necesidad de una marcha.

Sin embargo, el motor eléctrico no puede dar potencia al auto por sí solo, el motor térmico debe estar encendido para mover el auto.

El motor en el Insight, mostrado en la Figura 1-7, pesa sólo 56 Kg., cilindrada de 1 litro que con sus tres cilindros desarrolla 67 Hp a 5700 rpm. El auto alcanza un rendimiento de 60 millas por galón (25.5 Km/L) en ciudad y 66 millas por galón (28 Km/L) en carretera. El insight alcanza una aceleración que le permite ir de 0 a 96 km/h en 11 segundos.

Con el motor eléctrico accionado, el Insight produce 73 Hp a 5700 rpm, lo que indica que el motor eléctrico añade solamente 6 Hp bajo éste régimen. La efectividad real del motor eléctrico se observa a bajas revoluciones del motor térmico. El motor eléctrico en el insight es especificado para 10 KW (aproximadamente un poco más de 13 Hp) a 3000 rpm.

Sin el motor eléctrico el Insight realiza su torque máximo de 66 libras/pie a 4800 rpm. Con el motor eléctrico se alcanzan 79 libras/pie a 1500 rpm. Entonces, el motor eléctrico añade gran cantidad de torque en la zona de bajas revoluciones donde el motor térmico es débil. Esto permite al insight con un motor térmico pequeño darle la sensación de tener uno mucho más grande^[12].



Fig. 1-7 Fotografía del motor del Insight con corte, se puede apreciar el motor eléctrico montado sobre el eje del cigüeñal justo antes del embrague.

El Insight es actualmente muy parecido a un auto convencional desde el punto de vista del conductor. Cuando se acelera el motor térmico hace la mayoría del trabajo, pero si la aceleración es muy brusca, el motor eléctrico actúa para dar ese extra de potencia requerida.

Cuando se viaja en una autopista, el motor térmico es el que realiza la mayoría del trabajo. Cuando se baja por una pendiente o se aplican los frenos, el motor eléctrico actúa como generador aprovechando la energía cinética del automóvil para convertirla en energía eléctrica y depositarla en el acumulador o batería. Con estas características no es necesario conectar nunca el Insight a un contacto eléctrico para cargar las baterías, el motor térmico genera la potencia necesaria para cargar la batería.

Una característica interesante a resaltar en el Insight es que la transmisión manual está separada del motor eléctrico y térmico por un embrague. Por lo tanto, si al frenar o bajar la velocidad hasta detenerse se oprime el embrague o se mantiene en neutral el automóvil, no se obtienen los beneficios de la frenada regenerativa, de modo que para recuperar energía cuando se detiene el auto el motor debe estar engranado con los neumáticos

1.5.2 EL TOYOTA PRIUS

El Toyota Prius mostrado en la Figura 1-8 es el único modelo de coche híbrido comercializado con éxito hasta ahora. Ha sido la casa Toyota la autora de este modelo y por ahora solo está a la venta en Japón aunque se supone que en breve tiempo se comercializará en Estados Unidos y en Europa. Su precio será parecido al del Honda, incluso algo más barato y con la ventaja de que es una berlina de cuatro puertas y cuatro plazas. El objetivo es muy distinto, pues si en Honda han querido volcar en el *Insight* toda su capacidad tecnológica para hacer una serie muy corta, de 8.000 unidades al año, en Toyota quieren que su Prius compita en el mercado con los coches de su categoría dotados de motores convencionales.



Fig. 1-8 Imagen del modelo Prius de Toyota

También es distinto el sistema empleado, aunque básicamente se trate de la unión de un motor de gasolina con un eléctrico. En este caso, el último de ellos no cumple una mera labor de asistencia, sino que con sus 40 caballos cumple funciones de movilidad para el coche. El motor de combustión es un cuatro cilindros de ciclo Atkinson de 1,5 litros y 58 caballos de potencia. Según los datos facilitados por la casa es un coche híbrido paralelo con una alta

potencia gracias a que los trabajos de los dos motores se pueden sumar y generan unas puntas muy elevadas. Sin embargo no he logrado encontrar datos técnicos concretos.

Una de las principales ventajas del Toyota Prius es que mejora la calidad de las emisiones durante el manejo urbano. Para obtener esto, Toyota ha diseñado un tren de potencia híbrido paralelo llamado *Toyota Hybrid System(THS)* que añade algunos de los beneficios de los Híbridos Serie.

A diferencia de Honda, Toyota se ha enfocado principalmente en su tren de potencia para alcanzar sus objetivos de emisiones y rendimiento de combustible. El Prius pesa 1.315 kilogramos y tiene tanto espacio interior y de cajuela como el Toyota Corolla.

El Prius se enfoca principalmente en dos características para optimizar eficiencia y reducir emisiones que son:

- Su motor térmico solo trabaja en regímenes eficientes de carga y velocidad: Con el objetivo de reducir las emisiones contaminantes, el Prius puede acelerar a una velocidad de 24 Km/h antes de arrancar el motor térmico. El motor térmico entonces enciende una vez que el vehículo ha superado cierta velocidad, y una vez que el motor térmico se ha encendido, trabaja en una estrecha banda de velocidad.
- Usa únicamente un dispositivo divisor de potencia: El motor térmico puede ser ajustado para trabajar más eficientemente en ciertos rangos de velocidad y carga. Este dispositivo divisor de potencia le permite al motor térmico del Prius permanecer en esos regímenes eficientes la mayoría del tiempo. Toyota diseñó el motor térmico de 1.5 Litros en el prius para trabajar a una velocidad máxima de 5000 rpm donde desarrolla 76 Hp. Al mantener la máxima velocidad del motor térmico en niveles bajos permite el uso de componentes más ligeros para mejorar su eficiencia. El motor eléctrico en el Prius está especificado para entregar 67 Hp de 1200 a 1540 rpm. Produce 295 libras-Pie de torque de 0 a 1200 rpm, el cual es más que suficiente para hacer que el carro marche sin necesidad de la asistencia del motor térmico.

El Dispositivo divisor de Potencia es el corazón del Toyota Prius. Éste es una ingeniosa caja de engranes que acopla el motor térmico, el generador y el motor eléctrico. Este dispositivo permite operar al Prius como un híbrido paralelo; el motor eléctrico puede dar potencia al auto por si solo, el motor térmico también o ambos en conjunto. El dispositivo divisor de potencia también permite al auto operar como un híbrido serie – el motor térmico puede operar independientemente de la velocidad del vehículo, cargando las baterías o entregado potencia a las llantas cuando es necesario. Éste dispositivo puede actuar como una transmisión continua variable (CVT) eliminado la necesidad de una transmisión manual o automática. Finalmente, gracias a que el Dispositivo divisor de Potencia permite que el generador arranque el motor térmico, este no necesita de una marcha.

El Dispositivo divisor de Potencia del modelo Prius antes mencionado es un sistema planetario de engranes mostrado en la Figura 1-9. El motor eléctrico es conectado en el engrane *Anillo* del sistema planetario de engranes (El engrane más externo que tiene los dientes hacia adentro), el cual es conectado directamente al diferencial que activa las llantas del vehículo. Entonces, la velocidad del motor eléctrico y la del engrane *anillo* determinan la velocidad del vehículo.

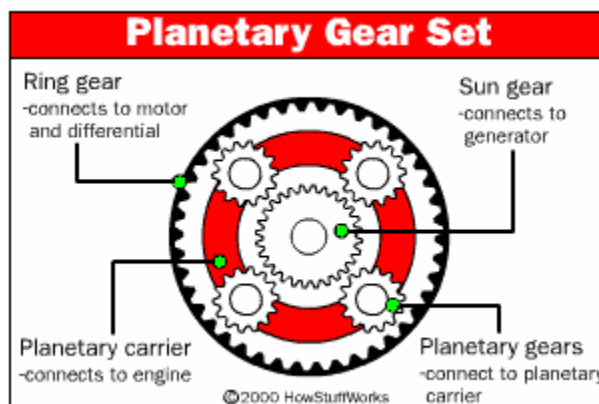


Fig. 1-9 Diagrama del tren de engranes planetario empleado en el Prius.

El generador es conectado al engrane *sol* del conjunto y el motor térmico es conectado al aro contenedor de los engranes *planetas*. La velocidad del engrane *anillo* depende de tres componentes los cuales tienen que trabajar en conjunto todo el tiempo para controlar la velocidad de salida del automóvil.

Cuando se acelera, inicialmente el motor eléctrico y las baterías proveen toda la potencia requerida. El engrane *anillo* del Dispositivo divisor de Potencia que es conectado al motor eléctrico es el que arranca el movimiento del motor térmico. El aro contenedor de los engranes *planetas* es conectado al motor térmico y es estacionario cuando el motor térmico no está encendido, siendo el engrane *sol* acoplado al generador el que gira por acción del engrane *anillo*. A medida que el auto acelera, el generador gira a la velocidad necesaria sin necesidad de encender el motor térmico.

Una vez alcanzada la velocidad de 65 Km/h se encenderá el motor térmico. El generador actuando como motor cambiará repentinamente la velocidad causando que el aro contenedor de los engranes planetas gire y encienda el motor térmico. Una vez que el motor térmico ha prendido, es ajustado a determinada velocidad constante mientras el generador varía su velocidad para establecer la velocidad de salida junto con el motor eléctrico. Cuando se está acelerando, el motor térmico dará potencia extra a las baterías. Una vez alcanzada la velocidad cruce, el automóvil se moverá por una combinación entre la potencia entregada por el motor eléctrico y el térmico, obteniendo la totalidad de la electricidad del generador.

1.5.2.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL TREN DE ENGRANES PLANETARIO

Para llevar a cabo el análisis del sistema, debemos hacer las siguientes definiciones:

S = Número de rotaciones del engrane *sol* (*Sun gear*)

R = Número de rotaciones del engrane *anillo* (*Ring gear*)

C = Número de rotaciones del *portador de los engranes planetas* (*planetary Carrier*)

Nr = Número de dientes del engrane *anillo*.

Ns = Número de dientes del engrane *sol*.

Considerando a los engranes planetas como engranes locos y que se mantiene fijo el *portador de los engranes planetas*, la relación de giro entre el engrane *sol* y el engrane *anillo*, es:

$$S = -\frac{N_r}{N_s} R \quad @ \quad C = 0 \quad \text{----- (1)}$$

Consideramos el signo de los giros como se muestra a continuación en la Figura 1-10.

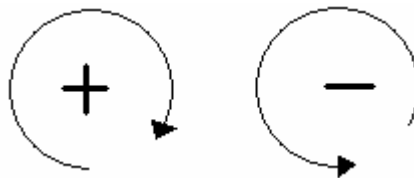


Fig. 1-10 Asignación de signos al sentido de giro de los engranes.

Y manteniendo fijo el *engrane anillo*, la relación de giro entre el *engrane sol* y el *portador de los engranes planetas* se deduce de la forma siguiente.

Paso 1: Establecemos arbitrariamente la posición cero para cada engrane en donde más nos convenga. Giremos entonces todo el conjunto del tren de engranes una vuelta en sentido positivo.

Paso 2: Giremos el *engrane anillo* una vuelta en sentido negativo, por lo que regresará a la posición cero escogida en el paso anterior manteniendo el *portador de los engranes planetas* en su posición, es decir, sin añadirle giro. Entonces aplicando la ecuación (1) y sustituyendo en ésta los valores de la

tabla 1-2 los giros en la columna del Paso 2 del *engrane anillo* y del *portador de los engranes planetas* se obtiene:

$$S = \left(-\frac{N_r}{N_s}\right)(-1) = +\frac{N_r}{N_s} \text{ para } C = 0 \text{ (se mantiene fijo el } \textit{portador de los engranes planetas})$$

Paso 3: Por último, la posición absoluta de cada engrane se obtiene sumando las filas correspondientes en la tabla 1-2. Podemos observar entonces que cuando el *portador de los engranes planetas* gira una revolución en sentido positivo manteniendo fijo el *engrane anillo*, el *engrane sol* gira $1+N_r/N_s$, por lo tanto, la ecuación que relaciona los giros de éstos engranes es:

$$S = \left(\frac{N_r}{N_s} + 1\right)C \quad @ R = 0 \quad \text{-----}(2)$$

		GIROS AÑADIDOS		POSICIÓN ABSOLUTA FINAL
		PASO 1	PASO 2	Sumas de los giros en los pasos 1 y 2
Engrane Sol	S	+1	$+N_r/N_s$	$1+N_r/N_s$
Engrane Anillo	R	+1	-1	0
Portador de engranes Planetas	C	+1	+0	1

Tabla 1-2 Deducción de la ecuación (2)

Para obtener la expresión que nos indique el giro del *engrane sol* cuando se mueven el *engrane anillo* y el *portador de los engranes planetas* sumamos las ecuaciones (1) y (2) para obtener:

$$S = \left(\frac{N_r}{N_s} + 1\right)C - \frac{N_r}{N_s}S \quad \text{-----}(3)$$

1.5.2.2 ANÁLISIS DE PARES DEL TREN PLANETARIO

Ahora analizaremos los pares encontrados en el tren de engranes planetario considerando que se conoce el par ejercido por el *portador de los engranes planetas*.

Debemos hacer las siguientes definiciones:

T_c = Par ejercido al centro del tren de engranes planetario por el *portador de los engranes planetas*.

F_c = Fuerza ejercida por y al final del *portador de los engranes planetas* o en el centro de dichos engranes.

F_r = Fuerza de reacción en el *engrane anillo*.

F_s = Fuerza de reacción en el *engrane sol*.

R_c = distancia del brazo del *portador de los engranes planetas* desde el centro del tren planetario hasta el centro del *engrane planeta*.

R_p = Radio del *engrane planeta*.

R_r = Radio del *engrane anillo*.

R_s = Radio del *engrane sol*.

K = Constante de proporcionalidad entre el radio del engrane y su número de dientes.

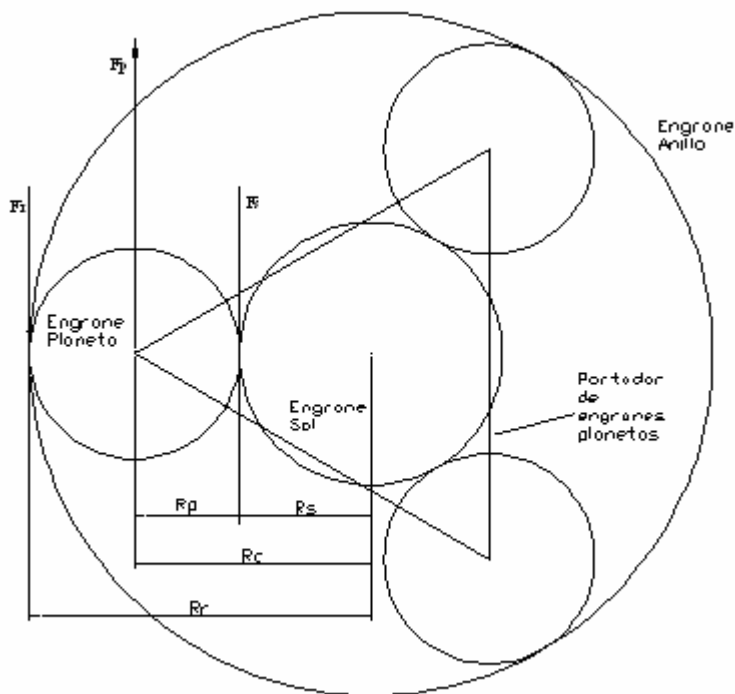


Fig. 1-11 Diagrama del tren de engranes planetario.

Se considera que el radio de un engrane es directamente proporcional a su número de dientes:

$$R_r \propto N_r$$

$$R_s \propto N_s$$

Al introducir la constante de proporcionalidad K antes definida tenemos:

$$R_r = KN_r \quad \text{----(P1)}$$

$$R_s = KN_s \quad \text{----(P2)}$$

De la figura 1-11 podemos observar la relación entre radios para establecer:

$$R_c = R_p + R_s$$

$$R_c = \frac{R_r - R_s}{2} + \frac{2R_s}{2} = \frac{R_r + R_s}{2} \quad \text{----(P3)}$$

De la definición de par para el *brazo portador de los engranes planetas* tenemos:

$$T_c = F_c R_c \quad \text{----(P4)}$$

Sustituyendo $P3$ y luego $P1$ y $P2$ en $P4$ tenemos:

$$T_c = F_c \frac{R_r + R_s}{2} = F_c \frac{KN_r + KN_s}{2} = F_c K \frac{N_r + N_s}{2}$$

Despejando F_c de la anterior:

$$F_c = \frac{T_c}{K \left(\frac{N_s + N_r}{2} \right)} \quad \text{----(P5)}$$

Por equilibrio de fuerzas y pares del diagrama de la figura 1-11 tenemos:

$$F_r = F_s = \frac{1}{2} F_c \quad \text{----(P6)}$$

Sustituyendo $P5$ en $P6$ y simplificando:

$$F_r = F_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_c}{K \left(\frac{N_s + N_r}{2} \right)} = \frac{T_c}{K(N_s + N_r)} \quad \text{----(P7)}$$

De la definición de par para el *engrane anillo*:

$$T_r = F_r R_r \quad \text{----(P8)}$$

Sustituyendo P1 en P8:

$$T_r = F_r K N_r \quad \text{----(P9)}$$

Sustituyendo P7 en P9 y simplificando obtenemos la **relación de pares entre el engrane anillo y el portador de los engranes planetas**:

$$T_r = \frac{T_c}{K(N_s + N_r)} K N_r = \frac{N_r}{N_s + N_r} T_c \quad \text{----(P10)}$$

De la definición de par para el *engrane sol*:

$$T_s = F_s R_s \quad \text{----(P11)}$$

Sustituyendo P2 en P11:

$$T_s = F_s K N_s \quad \text{----(P12)}$$

Sustituyendo P7 en P12 y reordenando obtenemos la **relación de pares entre el engrane sol y el portador de los engranes planetas**:

$$T_s = \frac{T_c}{K(N_s + N_r)} K N_s = \frac{N_s}{N_s + N_r} T_c \quad \text{----(P13)}$$

Para el **Prius**, el número de dientes para el *engrane sol* (N_s) es de 30 y para el *engrane anillo* (N_r) es de 78. Sustituyendo éstos valores en las ecuaciones P10 y P13 obtenemos:

$$T_r = 0.72 T_c \quad T_s = 0.28 T_c$$

De donde podemos observar que el 72% del par entregado por el motor térmico a través del *portador de los engranes planetas* se entrega al *engrane anillo* que está acoplado a las llantas del vehículo. Por otra parte, el restante 28% del par del motor térmico se entrega al

engrane sol que está acoplado al generador eléctrico, por lo tanto se puede concluir que el motor térmico contribuye con $\frac{3}{4}$ partes aproximadamente de su par al movimiento del vehículo, y el restante a la carga de las baterías.

Como el Insight, el Prius no necesita nunca recargar sus baterías en una conexión externa, el generador interno automáticamente mantiene el nivel correcto de la batería gracias al impulso del motor térmico.

1.5.3 PROYECTO DE LA UNIVERSIDAD DE CORNELL

En esta universidad se encuentran desarrollando el "*Slipstream*", un coche híbrido basado en un pila de hidrógeno con el que ya han participado en varias competiciones.

1.5.4 RENAULT NEXT

Coche híbrido con un motor térmico y dos eléctricos. Hasta los 40 km/h. sólo intervienen los últimos; a más velocidad actúa el térmico que, además, carga las baterías. Si se necesita más potencia, los motores eléctricos ayudan al térmico, acciones que controla un sistema informático llamado 'supervisor'. Alcanza una velocidad máxima de 167 Km/h.

1.5.5 RENAULT SPACE VERT

Este Vehículo Eléctrico a Turbina (VERT) tiene propulsión eléctrica, dos motores, que actúan sobre las ruedas delanteras, unidos en serie a un turboalternador que transmite energía y recarga las baterías.

1.5.6 HYUNDAI FGV-I

Híbrido todo-terreno con un motor de energía eléctrica que asiste a otro de combustión, que a su vez recarga las baterías mientras se desplaza. Su autonomía es de 197 kilómetros y su velocidad máxima es de 153 Km./h.

1.5.7 AUDI DÚO

Un propulsor turbodiesel de 90 caballos, que puede funcionar también con combustible vegetal para carretera, y un motor eléctrico acoplado directamente al cambio manual de cinco marchas para ciudad.

1.5.8 CHRYSLER CITADEL

Un bloque de seis cilindros en V, de 3,5 litros de capacidad y 253 caballos, propulsa las ruedas traseras de este híbrido, cuyas ruedas delanteras se mueven gracias a un motor eléctrico Siemens.

1.5.9 CITROËN XSARA DYNALTO

El sistema DYNalto, que integra al alternador y al arranque hace que el motor de gasolina de 90 caballos se desconecte si el coche se para. Al acelerar de nuevo, arranca gracias a un pequeño motor eléctrico.

1.5.10 GM IMPACT

Nació como EV1, y era totalmente eléctrico, pero fracasó. De ahí que fuera convertido en un híbrido cuyo propulsor de combustión recibe la ayuda de un pequeño motor eléctrico.

1.5.11 MITSUBISHI SUW ADVANCE:

Utiliza un sistema parecido al DYNalto de Citroën, es decir, un conjunto formado por un motor eléctrico, un alternador y un arranque, junto a un propulsor de inyección directa de gasolina de 1,5 litros y 105 caballos.

1.5.12 PININFARINA METROCUBO

Este curioso prototipo mostrado en Francfort tiene un motor de combustión situado en la parte delantera que genera energía para recargar las baterías. Estas mueven otro, eléctrico, ubicado en el centro del chasis.

1.5.13 VOLVO ECC:

Un motor eléctrico unido a una turbina que funciona con combustible líquido o gaseoso hace que funcione. La turbina carga las baterías, no pasa potencia al suelo. Esta llega por vía de la electricidad.

1.5.14 COMPARATIVA DE RENDIMIENTOS DE COMBUSTIBLE

La tabla 1-3 mostrada a continuación indica el rendimiento en Millas por Galón (MPG) para distintos autos híbridos comerciales en el mercado Estadounidense:

Hybrid Model	MPG City/Highway
<u>Chevrolet Silverado Hybrid</u>	18/21
<u>Ford Escape Hybrid</u>	36/31
<u>GMC Sierra Hybrid</u>	18/21
<u>Honda Accord Hybrid</u>	30/37
<u>Honda Civic Hybrid</u>	49/51
<u>Honda Insight</u>	60/66
<u>Lexus RX Hybrid</u>	33/28
<u>Mercury Mariner Hybrid</u>	33/29
<u>Toyota Highlander Hybrid</u>	33/28
<u>Toyota Prius</u>	60/51
Fuente: FuelEconomy.gov	

Tabla 1-3 Rendimiento de combustible para los distintos modelos híbridos comerciales.

A continuación y por último mostramos una gráfica comparativa en la figura 1-12 de los rendimientos del consumo de combustible de los distintos modelos comerciales ofrecidos por las grandes compañías manufactureras:

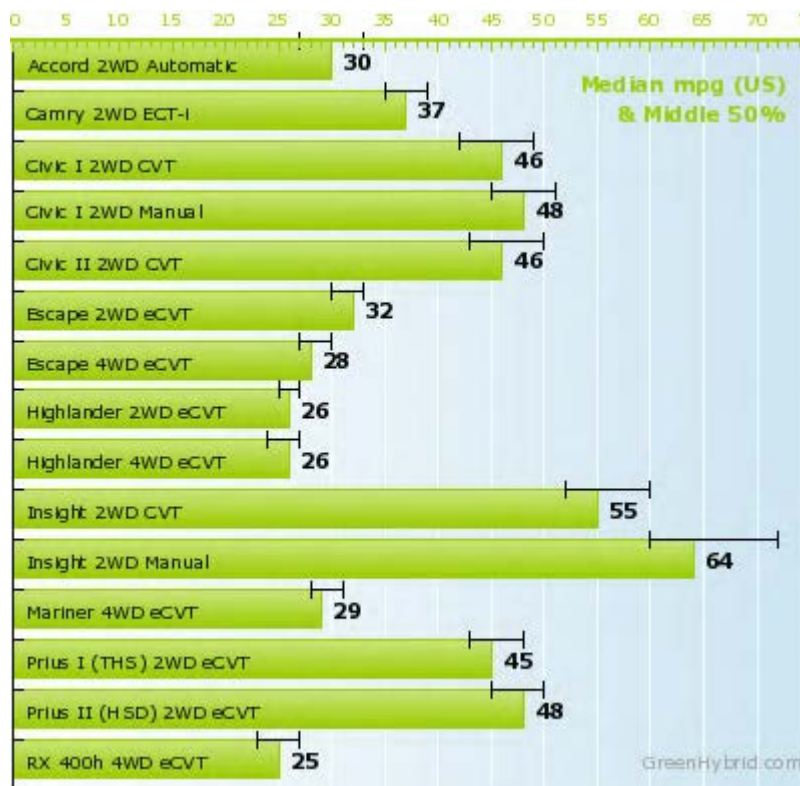


Fig. 1-12 Rendimientos en Milla por Galón de los autos híbridos comerciales.

1.6 ALCANCE DEL CAPITULO I

La información mostrada en éste capítulo facilitará la toma de decisiones y generación de ideas en el capítulo siguiente, en donde se desarrollará un Prototipo Didáctico que muestre el modo de operación de un Sistema Híbrido tipo Serie.

CAPÍTULO 2

GENERACIÓN DE SOLUCIONES

Para llevar a cabo el Prototipo Didáctico del Sistema Híbrido Automotor se debe tener una idea de la composición de los sistemas y dispositivos que lo integran, así como de las interacciones entre éstos con sus distintos flujos de información. En base a los datos de los capítulos anteriores estamos en condiciones de establecer las características de los componentes y dispositivos que necesitamos para llevar a cabo el Prototipo Híbrido Serie.

2.1 LLUVIA DE IDEAS

Para tal efecto se describe a continuación las características esperadas del Prototipo por medio de un primer esquema que visualiza los diferentes sistemas que lo componen mostrado en la Figura 2-1.

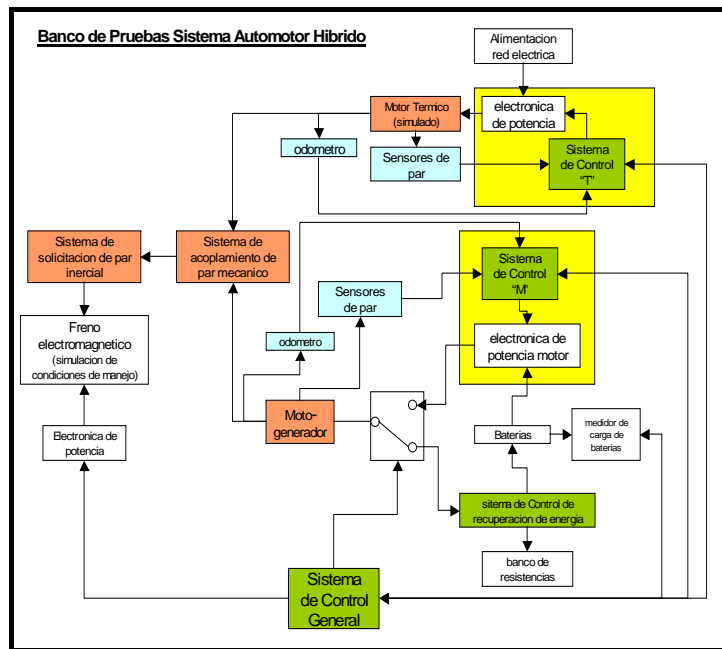


Fig. 2-1 Primer Esquema del Prototipo Didáctico del Sistema Híbrido Automotor

Como primera proposición consideramos que el Motor Térmico puede ser simulado con un motor eléctrico que es alimentado de la red eléctrica comercial. De este modo, la energía obtenida de la red eléctrica representa para el Prototipo la energía obtenida del combustible quemado en un Motor Térmico, por ejemplo, uno de combustión interna. La

electrónica de potencia y el sistema de control "T" realizan las funciones de administrar la energía obtenida de la Red Eléctrica comercial según se requiera como lo haría el control del acelerador de un motor de combustión interna cualquiera. Los sensores de Par y el odómetro acoplados al Simulador de Motor térmico generarán las señales de retroalimentación necesarias para los sistemas de control.

Se considera por otra parte y continuando con el esquema de la figura 2-1, lo que se refiere al Motor Eléctrico del Prototipo definido como Moto-generador, el cual también incluye un llamado Sistema de Control "M" y su electrónica de Potencia, los cuales se encargan de la administración de la energía entrante al Motor Eléctrico según se requiera. El Motor Eléctrico lleva acoplado sensores de par y a su flecha mecánica un odómetro con los que se obtiene la información necesaria para retroalimentar al Sistema de Control "M".

Ambos motores, el Térmico Simulado y el Motor Eléctrico, así como el Sistema de par inercial que simula las condiciones de manejo, están conectados mecánicamente por un sistema de Acople que puede ser directo o engranado si se requiere alguna relación de velocidades angulares o pares.

El Sistema de par inercial funciona básicamente como un simulador de la inercia que presenta el vehículo durante los cambios de velocidad y el Freno Electromagnético hace una simulación de las condiciones de manejo en cuanto al recorrido de pendientes o descensos durante un recorrido normal. El Freno Electromagnético lleva su electrónica de potencia necesaria para suministrar y administrar la energía.

La Batería empleada en el Prototipo funciona como un almacén de energía que puede suministrarla a los distintos dispositivos electrónicos o eléctricos como el Motor Eléctrico denominado Moto-Generador. Esta Batería tiene conectado un sistema de medición de carga eléctrica que permite monitorear su nivel.

La recuperación de energía mediante el Moto-Generador la realiza el Sistema de Control de Recuperación de Energía que está conectado a un banco de Resistencias que se emplean cuando se presenta un exceso de energía recuperada que no puede ser almacenada en la batería.

Por último tenemos el Sistema de Control General que gobierna todos los demás subsistemas de Control locales enviándoles los parámetros que deben controlar cada uno de ellos según la solicitud que se requiera.

De lo anterior notamos la necesidad de dividir los elementos del Prototipo en Subsistemas definidos en base a su implementación física y concentrarse en cada uno de ellos en particular para su correcta manufactura.

Tenemos entonces los siguientes subsistemas:

- *Motor Térmico*: La idea de simular el motor térmico es cancelada dada la posibilidad de adquirir un motor térmico de aeromodelismo para éste prototipo. Entonces se considera en este subsistema el Motor Térmico disponible así como el Servomotor acoplado al carburador para controlar su apertura y cierre, el encoder y su sensor óptico acoplados a la flecha mecánica de dicho Motor Térmico, el Ventilador, tanque de combustible y resistencia eléctrica de potencia acoplada a la bujía.
- *Motor Eléctrico*: Considera la máquina eléctrica rotatoria cuya función principal será en su modalidad de Motor, su encoder y sensor óptico acoplados a la flecha.
- *Generador*: Considera a la Máquina eléctrica rotatoria cuya función principal será en su modalidad de Generador, su encoder y sensor óptico acoplados a la flecha.
- *Tarjeta Electrónica de Potencia*: Considera los dispositivos eléctricos y electrónicos que suministran energía a los dispositivos actuantes del prototipo y que entrega las señales en el formato adecuado de los sensores ópticos, de la carga de la batería y de los potenciómetros que funcionan como aceleradores.
- *Tarjeta Electrónica de Control*: Considera los dispositivos electrónicos que reciben las señales de los encoders y potenciómetros, las procesan y suministran las señales de control a la Tarjeta Electrónica de Potencia.

2.2 SELECCIÓN DE SOLUCIONES

A continuación se detalla las características de los dispositivos empleados en el Prototipo Didáctico.

2.2.1 MOTOR TÉRMICO

El motor térmico empleado es un motor de combustión interna denominado “Motor Glow” por el hecho de tener una bujía de incandescencia, en lugar de la conocida bujía de chispa de los motores convencionales de automoción y otros, éstos motores se suelen usar habitualmente en Modelismo (Aeromodelismo, Automodelismo, etc.) y otros usos similares, incluso para algunos usos militares (aviones espía y otros aparatos similares), su combustible habitual es el Alcohol Metílico (metanol) que se suele mezclar con aceites especiales, para lubricar todas sus partes y a veces también con algunos aditivos para mejorar sus características. En la Figura 2-2 se muestra una vista de éste tipo de motor.



Fig. 2-2 Vista de un motor glow usado en aeromodelismo

Las bujías de incandescencia, mostrada en la Figura 2-3, tienen un filamento similar al de una bombilla, éste filamento suele estar compuesto por una aleación llamada Wolframio (también llamado tungsteno). El uso de éste tipo de bujías tiene una razón crucial, el peso; pues si usasen bujías de chispa se necesitarían alternadores, baterías y otros elementos, que además, son problemáticos con la aviónica, pues pueden producir interferencias, en cambio, las bujías de incandescencia solo necesitan una pequeña corriente en el arranque del motor para ponerse incandescentes, después son las propias explosiones las que hacen el trabajo de mantener el filamento al rojo vivo, por lo cual ya no necesitaremos mantener alimentada la bujía.



Fig. 2-3 Bujía de incandescencia del motor de aeromodelismo

Además, el metanol es un combustible que tiene unas características y poder de explosión superior a la gasolina convencional, con mucho menos residuos y menor temperatura de trabajo.

Estas bujías tienen muchas calidades y grados de “calentamiento”, pues en su incandescencia depende mucho la cilindrada del motor y las condiciones del medio ambiente, lo que hace variar el punto de incandescencia, por lo cual es importante escoger adecuadamente la bujía que necesitamos en cada momento y para cada motor. De ello depende el buen rendimiento del motor; una bujía demasiado fría hará que el motor no rinda bien a bajas revoluciones, petardeando y pudiendo llegar a pararse con gran

facilidad, y una bujía demasiado caliente se puede fundir, y por consiguiente se pararía el motor.

Los motores Glow se dividen en dos grandes grupos, los de 2 tiempos y los de 4, siendo el funcionamiento básico el de ambos el mismo que el de sus equivalentes en gasolina. Los motores de 2 tiempos están mucho más extendidos por su mayor simplicidad, menor peso, menor precio y mejor relación peso/potencia y los motores de cuatro tiempos, por el contrario tienen un nivel sonoro más bajo, mueve hélices de mayor diámetro y consume menos combustible.

Los motores de 2 tiempos realizan 1 explosión por cada vuelta o revolución del cigüeñal, tiene dos ciclos como su nombre lo indica, uno donde se realiza la “admisión-compresión” y otro de “expansión-escape” donde la entrada de combustible y salida de gases de combustión se realiza por unas lumbreras u orificios laterales que se encuentran en la camisa y los cuales taponan o liberan el pistón al subir o bajar. Llegan a alcanzar muy altas revoluciones, en motores para aeromodelismo por ejemplo, se alcanzan 18000 RPM y en autos de modelismo incluso superan las 35000 RPM, lo cual es inalcanzable en sus hermanos mayores de gasolina o diesel. En cuanto a potencia, hablamos de una misma relación peso-potencia que los F1, motores de 4 cc y 1 caballo de potencia son muy comunes. Hay algunas versiones de 2 pistones en línea.

Los motores de 4 tiempos dan dos revoluciones o vueltas por cada explosión, tienen cuatro ciclos bien definidos que son Admisión, Compresión, Explosión y Escape. Hay varios tipos de motores según su manufactura, algunos con válvulas con una camisa rotativa muy ingeniosa (como los motores RCV), pero la mayoría son el típico sistema de árbol de levas, de un solo pistón, aunque también las hay de varios cilindros, radiales, en línea, pero son verdaderas joyas nada habituales, aunque sus precios son realmente prohibitivos. Los motores Glow (de bujía incandescente) de 4 tiempos son algo críticos en ralentí, la explicación es sencilla, al dar dos vueltas por cada explosión, pasa demasiado tiempo entre explosión y explosión y ésta no tiene la capacidad de mantener el filamento de la bujía incandescente por lo cual el motor puede llegar a petardear e incluso pararse con mucha facilidad, sin embargo hay métodos para equilibrar ésta desventaja. Las marcas de empresas manufactureras de éste tipo de motores son muchas, pero algunas de las más prestigiosas y de toda la vida son Webra (austriaca), OS (EU), Enya, Saito (Japón), Mvvs (Checos), RCV (Ingleses), Supertigre (Italianos), etc.

Las características del motor térmico empleado en el *Prototipo Didáctico* son las siguientes:

- Motor Térmico de Combustión Interna en Ciclo SemiDiesel.
- Marca: SUPERTIGRE
- Modelo: G34 Ring

- Desplazamiento: 5.5 cc [0.34 pulgadas cúbicas]
- Salida: 0.98 hp @ 16500 RPM

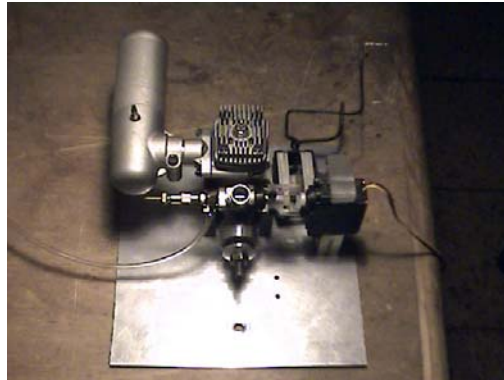


Fig. 2-4 Vista de frente del Motor térmico empleado montado sobre su base con su servomotor y resistencia de potencia de la bujía.

2.2.1.1 DESCRIPCION DE PARTES DEL MOTOR TÉRMICO

A continuación se describen las piezas que conforman el motor térmico para su correcta ubicación y comprensión de su funcionamiento. La Figura 2-5 indica gráficamente el nombre de cada una de las partes externas que componen al Motor Térmico.

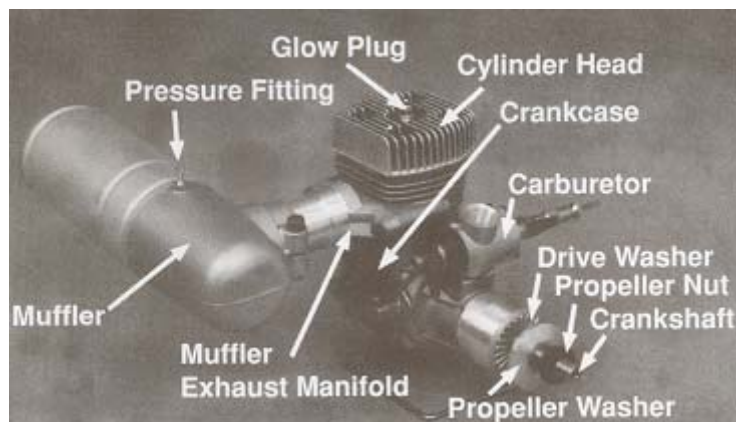


Fig. 2-5 Descripción de partes del motor térmico

Eje del motor o cigüeñal (Crankshaft): El eje del motor que viene directo del cigüeñal transforma el movimiento recíprocante del pistón en movimiento rotacional. En el caso del aeromodelismo la hélice es instalada en la parte externa del eje del motor donde éste tiene una cuerda y una tuerca (Propeller nut) para sujetarla en su posición a través de una arandela o roldana (Propeller washer) para proveer una mayor área de sujeción de la hélice. La arandela de transmisión (Drive washer) es asegurada al eje del motor con un cono de atrancamiento y está estriada en la superficie que hace contacto con la hélice para evitar deslizamientos de ésta una vez que está montada y en funcionamiento.

Carburador: El carburador controla la cantidad de combustible y aire que entra al motor. La figura 2-6 muestra la vista en explosión de las partes que componen al carburador.

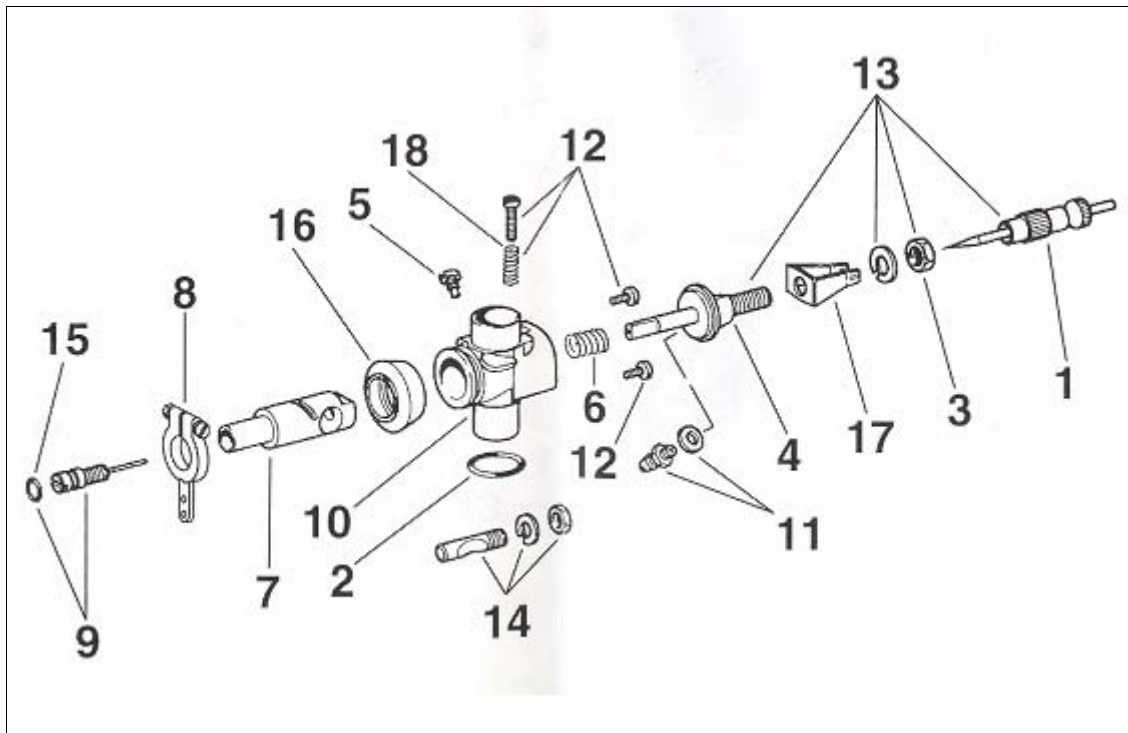


Fig. 2-6 Vista en explosión de las partes del carburador.

Número de parte	Descripción
1	Aguja del carburador con estrías para matraca (needle)
2	Empaque plástico tipo anillo del carburador
3	Tuerca de sujeción de la laminilla matraca
4	Barra de rocío (Spray Bar)
5	Tornillo guía del barril de estrangulamiento
6	Resorte antagonista del barril de estrangulamiento
7	Barril de estrangulamiento
8	Brazo de estrangulamiento
9	Aguja de ajuste fino
10	Carcasa del carburador
11	Boquilla para toma del combustible
12	Juego de tornillos sujetadores
13	Ensamble de la válvula de aguja
14	Perno sujetador del carburador
15	Empaque plástico de la aguja de ajuste fino

Número de parte	Descripción
16	Cubre polvo del barril de estrangulamiento
17	Laminilla matraca
18	Resorte del tornillo para tope del barril de estrangulamiento

Tabla 2-1 Lista de partes del carburador.

Carcasa (Crankcase): La carcasa es el cuerpo principal del motor y el que sostiene los componentes internos.

Cabezal del cilindro (Cylinder Head): El cabezal del cilindro va sujeto en la parte superior de la carcasa. Lleva a cargo el sello en la parte superior del pistón. Las aletas en el cabezal del cilindro proveen una superficie de enfriamiento. El cabezal del cilindro es quien sujeta la bujía de incandescencia.

Bujía de incandescencia (Glow Plug): La bujía de incandescencia provee el calor necesario para crear la ignición del combustible en el cilindro.

Colector de Escape (Exhaust Manifold): El colector de escape permite la sujeción y ajuste de distancia del silenciador de gases de escape con el motor.

Silenciador (Muffler): El silenciador como su nombre lo indica reduce la emisión de ruido de los gases de escape al salir del cilindro del motor.

Línea de Presurizado (Pressure Fitting): Permite que la presión del aire del sistema de escape, específicamente del silenciador presurice el tanque de combustible.

Aguja de alta velocidad (High Speed Needle): La aguja de alta velocidad controla la cantidad de combustible que entra al carburador durante la operación del motor a velocidades medias y altas.

Tornillo de mezcla en baja velocidad (Idle Mixture Screw): El tornillo de mezcla en baja velocidad controla la cantidad de combustible que ingresa al carburador cuando el motor se encuentra a bajas velocidades.

Tornillo de tope para bajas velocidades (Idle Stop Screw): El tornillo de tope controla el máximo cierre del barril de estrangulamiento. El fabricante recomienda que se permita al barril de estrangulamiento cerrar totalmente para permitir apagar el motor al estrangular por completo el paso del aire y combustible al motor.

Brazo de estrangulamiento (Throttle Arm): El brazo de estrangulamiento es una pieza de plástico conectada al barril de estrangulamiento que permite moverlo angularmente para cerrarlo o abrirlo. Esta acción regula la velocidad del motor.

2.2.1.2 PROCESO DE MONTAJE DEL MOTOR TÉRMICO

Primero se inserta el perno de retención del carburador (el cual tiene una superficie curva, la cual debe coincidir con la superficie cilíndrica) en el barreno de la carcasa en la parte posterior de la base que sostendrá al carburador. Se coloca la tuerca y la roldana en la parte roscada del perno. Entonces se coloca el carburador en la base de la carcasa que lo sostendrá y se introduce procurando que el empaque plástico de anillo selle entre la carcasa y el carburador como se muestra en la Figura 2-7.

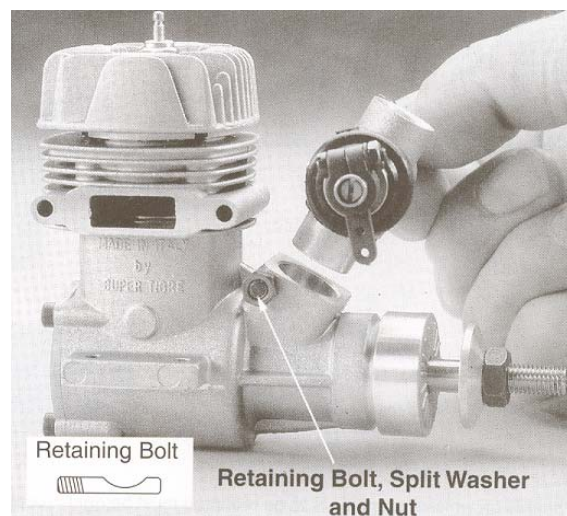


Fig. 2-7 Instalación del carburador

Las vigas que sirven de base al motor térmico deben ser rígidas, paralelas una respecto a la otra y coincidentes al mismo plano en su parte superior como se muestra en la Figura 2-8. Se emplearon tornillos milimétricos de 3mm de diámetro para los cuatro puntos de sujeción.

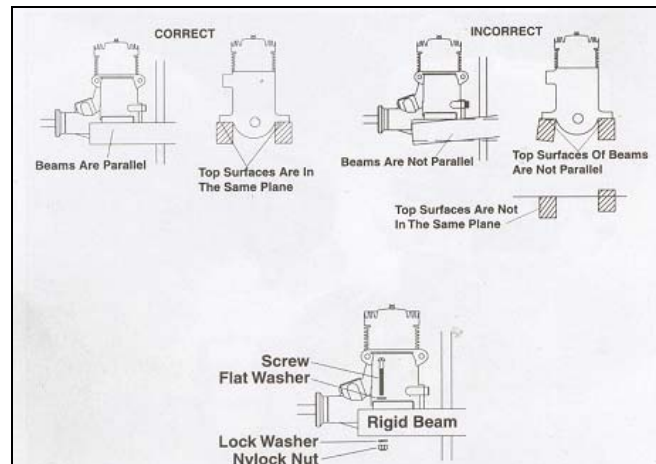


Fig. 2-8 Sujeción del Motor Térmico.

Una vez montado el motor en su correcta posición, el eje central del tanque de combustible debe estar al mismo nivel que el del barril de estrangulamiento o no más de $3/8''$ por debajo de éste para asegurar el correcto flujo de combustible al carburador, como se muestra en la figura 2-9.

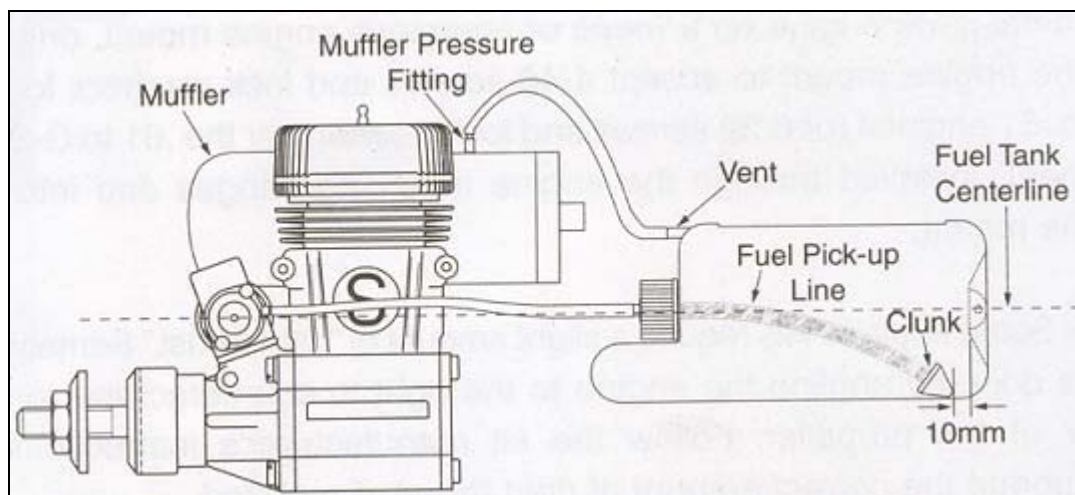


Fig. 2-9 Instalación del tanque de combustible.

Enseguida se monta el Colector del Escape mostrado en la Figura 2-10, para lo cual se emplean dos tornillos, sus roldanas y una junta suministrados por el fabricante. Hay que tener especial cuidado de no olvidar colocar la junta entre el Motor y el Colector del Escape para que hagan buen sello.

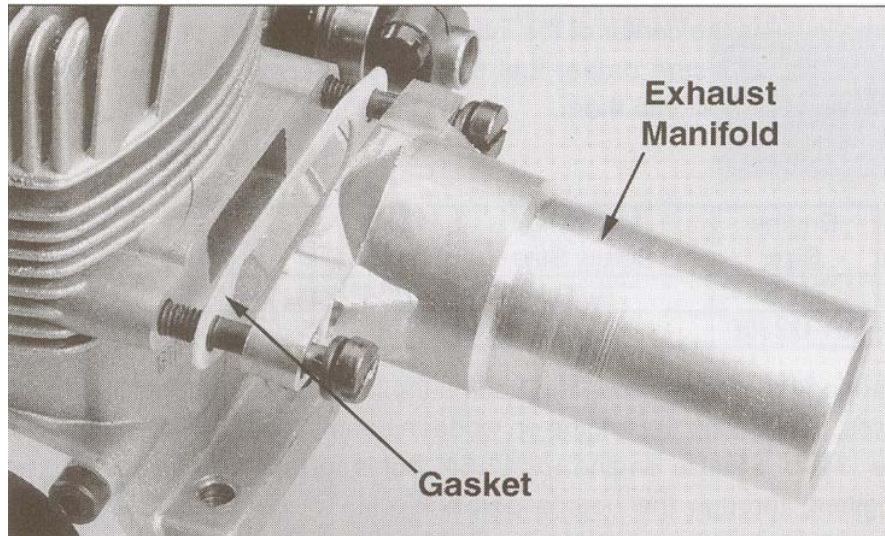


Fig. 2-10 Instalación del Colector de Escape.

A continuación se instala el tornillo de 4mm x 7mm colocando previamente su tuerca en el silenciador en la zona que tiene para ello sin apretar demasiado y se desliza el silenciador hasta la distancia deseada a través del colector del escape, como se muestra en la figura 2-11. Una vez posicionado en el lugar deseado, se aprieta el tornillo para mantenerlo fijo en éste lugar.

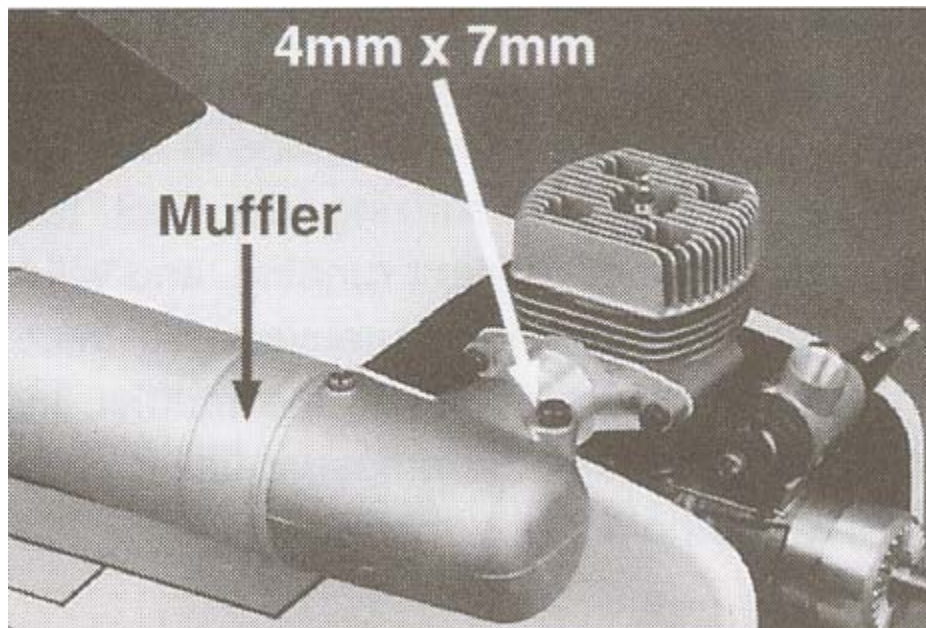


Fig. 2-11 Instalación del silenciador.

A continuación se instala la línea de presión para el tanque de combustible para que el motor opere apropiadamente. Ésta línea fue pensada para presurizar el tanque de combustible cuando el motor mueva algún modelo de avión a escala y que durante las

maniobras de vuelo el flujo de combustible no se interrumpa con lo que se asegura una correcta operación. Cuando el motor está operando, la presión se genera en el silenciador por los gases de escape y ésta presión es aprovechada para presurizar el tanque de combustible. Para esto se conecta la boquilla roscada suministrada por el fabricante en el silenciador como se muestra en la figura 2-12 y en ella una manguera de plástico que conecta al tanque de combustible.

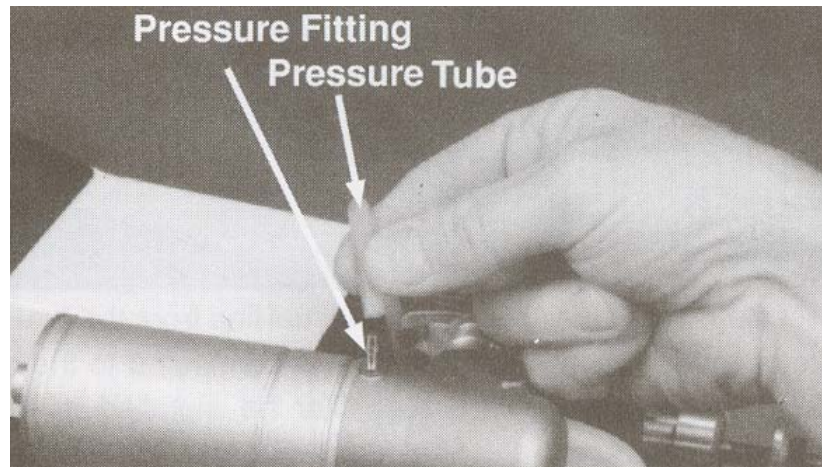


Fig. 2-12 Instalación de la línea de Presurizado.

En seguida conectamos la línea de combustible como se muestra en la Figura 2-13, por medio de una manguera de silicón de 3/32" de diámetro al conector del carburador y en el otro extremo a la toma de combustible del tanque de almacenamiento. El fabricante sugiere la instalación de un filtro de combustible para evitar que se tapen los conductos del carburador con partículas de impurezas que puedan dañar incluso las piezas internas del motor.

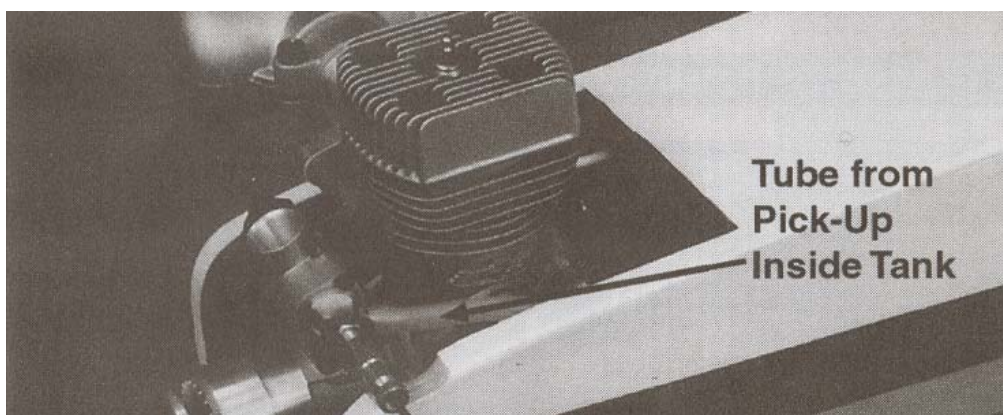


Fig. 2-13 Conexión de la línea de combustible

A continuación, en la Figura 2-14 se muestra una vista en explosión de las partes que componen el motor térmico:

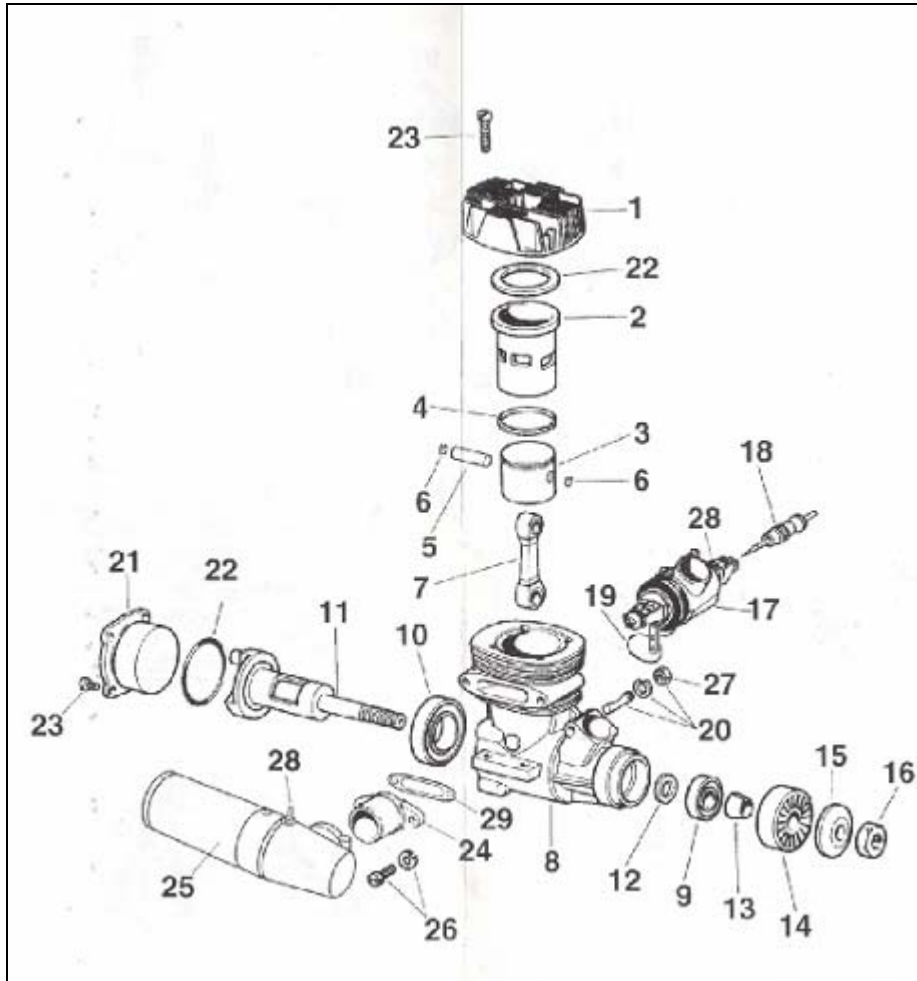


Fig. 2-14 Vista en explosión del Motor Térmico.

Número de parte	Descripción
1	Cabezal del Cilindro
2	Camisa del cilindro
3	Pistón
4	Anillo del pistón
5	Perno de sujeción de biela-pistón
6	Seguro del Perno de sujeción de biela-pistón
7	Biela
8	Carcasa
9	Rodamiento frontal
10	Rodamiento trasero
11	Eje-cigüeñal
12	Separador del Eje-cigüeñal
13	Cono atrancamiento

Número de parte	Descripción
14	Arandela de transmisión
15	Arandela de hélice
16	Tuerca de sujeción de hélice
17	Carburador
18	Aguja de ajuste de Alta Velocidad
19	Empaque anillo para el carburador y la carcasa
20	Perno sujetador del carburador
21	Culata del motor
22	Empaque anillo de la culata del motor
23	Tornillos sujetadores de la culata del motor
24	Colector de gases de escape
25	Silenciador de los gases de escape
26	Tornillos sujetadores del colector de gases de escape
27	Tuerca del perno sujetador del carburador
28	Boquilla roscada de la línea de presurización
29	Junta del colector de gases de escape y la carcasa del motor

Tabla 2-2 Lista de partes del Motor Térmico.

2.2.1.3 EQUIPO REQUERIDO PARA OPERAR EL MOTOR

Combustible: El combustible recomendado por el fabricante para éste motor debe contener un mínimo del 18% - 20 % de aceite (Aceite de castor o de ricino, aceite sintético o una mezcla de los dos), 0% - 15% de nitro metano y el resto para balancear al 100% de metanol. Aunque la mayoría de los combustibles en el mercado entre el 0% y 15% de nitro metano son buenos, se pueden obtener mejores resultados con combustibles tipo "Premium" que con combustibles "Deportivos". Altos niveles de nitro metano pueden requerir ajustes en la Razón de compresión del motor para evitar detonaciones.

Arrancador o marcha: El fabricante recomienda un arrancador eléctrico que pueda operar a 12 Volts. Como precaución principal no se debe intentar arrancar el motor con las manos o dedos directamente, ya que al arrancar puede causar daños personales.

Batería para la bujía de incandescencia: En modelismo se emplea por facilidad de operación un arrancador eléctrico de bujía con una batería interna de 1.2 a 1.5 volts. En nuestro caso emplearemos una resistencia de potencia divisora de voltaje para limitar la corriente y entonces conectarla a nuestra batería principal de 12 V. Para retirar la bujía del motor emplearemos un dado de tuercas de 5/16".

2.2.1.4 INICIO DE OPERACIÓN DEL MOTOR TÉRMICO

El motor “Súper Tigre” no requiere mucho tiempo de calentamiento inicial al comenzar a trabajar, con unos cuantos segundos es suficiente para permitir a las piezas mecánicas alcanzar la temperatura adecuada como al carburador su estado óptimo de trabajo.

1. Previo al encendido del motor es conveniente revisar que la bujía de incandescencia no esté fundida. Esto se logra al desatornillarla del motor y conectarla a sus valores nominales de voltaje para lo cual se debe observar que el filamento se pone al rojo vivo lo cual indica que la bujía está en buenas condiciones. Una vez realizada esta prueba volvemos a colocar la bujía en su lugar colocando la arandela de cobre para sellar y enroscando la bujía primeramente con los dedos hasta que entre completamente y por último apretándola con el dado de tuercas sin exceder la fuerza para no dañar las cuerdas.
2. Rellenar el tanque de combustible por medio de la línea que conecta con el carburador hasta un nivel adecuado y en función del tiempo que se necesite que opere el motor térmico. Una vez realizada ésta operación, se vuelve a conectar la manguera al carburador
3. Enseguida se procede a iniciar el ajuste de la carburación. Primero se gira la válvula de aguja en el sentido del giro de las manecillas del reloj hasta que se detenga sin apretar como se muestra en la figura 2-15, luego se gira 3 vueltas en sentido contrario al de las manecillas del reloj y se deja en ésta posición. Girar la válvula en la dirección de las manecillas se llama “empobrecer” (Lean) la mezcla de aire-combustible. Girarla en sentido contrario de las manecillas de reloj se llama “enriquecer” (Rich) la mezcla. Esto se muestra en la Figura 2-15.

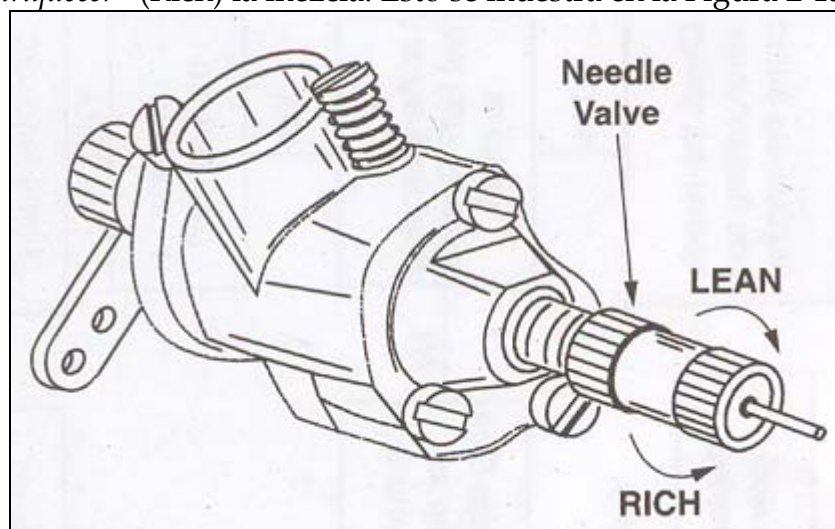


Fig. 2-15 Proceso de ajuste de carburación

4. El siguiente paso consiste en abrir por completo el brazo de estrangulamiento del carburador, cerciorarse que no está conectada la bujía y tapar con el dedo la entrada de aire de éste, enseguida se hace girar el eje del motor en sentido contrario al de las manecillas del reloj (el cual es el sentido único posible de giro del motor cuando está funcionando) para observar cómo avanza el combustible a través de la línea de alimentación. Una vez que el combustible ha llegado hasta el carburador se dan dos giros más para asegurar que éste llegue hasta el cilindro del pistón. Este proceso se llama *calzado* del motor.

2.2.1.5 PRIMER PUESTA EN MARCHA DEL MOTOR TÉRMICO

Antes de echar a andar el motor térmico se debe estar en un área bien ventilada ya que los gases de escape del motor son tóxicos y pueden llegar a ser mortales en grandes concentraciones o prolongada exposición.

1. Se conecta la bujía aplicándole el voltaje nominal que marca el fabricante. Se deja por lo menos un lapso de medio segundo para permitir al filamento de la bujía llegar a su temperatura ideal antes de continuar con el proceso de arranque.
2. Se abre el carburador a $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{3}$ de su capacidad como se muestra en la figura 2-16

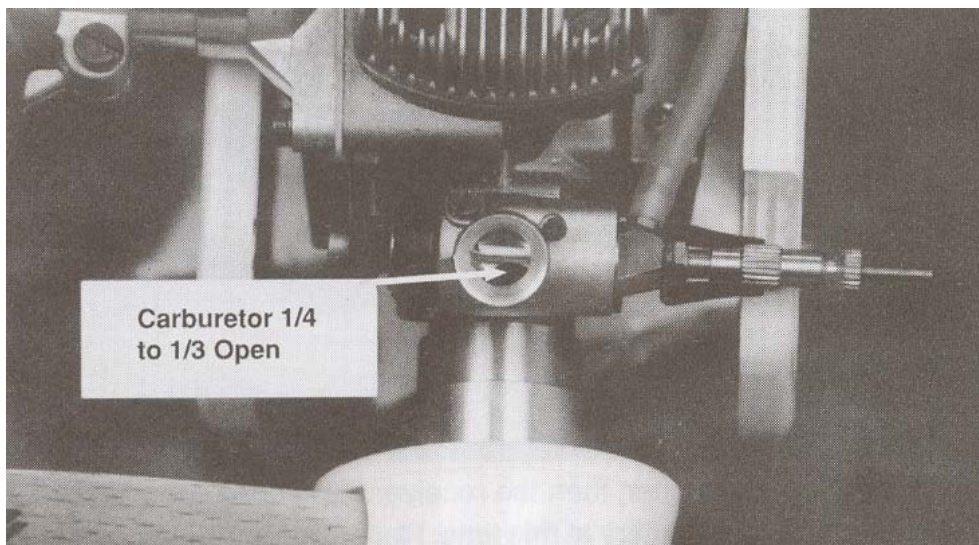


Fig. 2-16 Apertura del carburador para arranque del motor.

3. Se activa el *Generador* como motor eléctrico para arrastrar al motor térmico y hacerlo girar en sentido contrario al de las manecillas del reloj viéndolo desde el eje de éste último. Un arranque normal se da dentro de las primeras diez vueltas del eje o antes de diez segundos, si se sobrepasa cualquiera de estos límites y el motor aún no enciende quiere decir que algún detalle está fallando. Puede ser

que no haya suficiente combustible en el carburador o caso contrario que el motor esté ahogado de combustible, en éste último caso se debe tener cuidado de no hacer girar el motor pues se pueden dañar sus partes internas y en el primero se debe repetir el proceso de *calzado* del motor descrito anteriormente.

4. Una vez que ha arrancado el motor térmico éste debe permanecer encendido aunque se observe dificultades en su giro. Esto es normal debido a que el motor está aún *frío*. Después de 15 o 20 segundos se puede desconectar el voltaje a la bujía, ya que el mismo calor de las explosiones la mantiene caliente. Después de esto se deja trabajar al motor a este nivel de estrangulamiento por alrededor de 30 segundos y entonces se puede abrir el carburador al máximo. El motor en este punto puede seguir trabajando muy irregularmente y observarse que “escape” gotas de aceite por el escape del silenciador. Esto es porque el motor está corriendo en una condición de mezcla *rica* en combustible, es decir, está ingresando más combustible del que necesita el motor para trabajar correctamente. Se debe dejar trabajar el motor en éstas condiciones por al menos 5 minutos.
5. Después de este proceso, se puede empezar a *empobrecer* la mezcla de combustible girando la “aguja de alta velocidad” del carburador en el sentido de las manecillas del reloj en 1/8 de vuelta máximo en cada paso. Para saber si el motor aún está en condición de mezcla *rica* en combustible, se debe oprimir con los dedos la manguera o línea de combustible para estrangularla un instante y luego soltar y si se oye que el motor aumenta su velocidad angular entonces se puede girar la aguja otro paso para empobrecer la mezcla. Luego se deja trabajar el motor un minuto en éste estado y se vuelve a hacer la prueba del estrangulamiento de la manguera de combustible. Si aún se escucha el aumento de velocidad se continúa el proceso de empobrecimiento de la mezcla con lapsos de tiempo entre cada paso de 30 segundos hasta que no se escuche aumento de la velocidad.
6. Jamás se empobrezca tanto la mezcla que al estrangular la línea de combustible se escucha que decae la velocidad del motor. La lubricación del motor se hace por medio del paso del combustible que es básicamente una mezcla de aceite y metanol, por lo que al empobrecer en exceso la mezcla de aire – combustible se restringe el paso del lubricante lo que termina por desgastar el motor y dañarlo por el sobrecalentamiento generado. Por lo tanto, es conveniente ajustarlo en un nivel aceptable de mezcla *rica* en combustible, además que en este estado se tiene un mejor control de la velocidad del motor por apertura o cierre del carburador.

2.2.1.6 PARO DEL MOTOR TERMICO

Para detener el Motor Térmico antes de que se consuma el combustible disponible en el tanque, el fabricante sugiere cerrar por completo el carburador de modo que no ingrese a la cámara de combustión más mezcla de aire y combustible y por lo tanto el motor se detenga.

2.2.1.7 ACOPLAMIENTOS MECÁNICOS

El acoplamiento mecánico de flechas entre los rotores del Motor Térmico y el Motor Eléctrico consta de dos conectores cilíndricos asegurados por opresores a las flechas y un cilindro hueco de caucho reforzado asegurado por tornillos pasantes de 3 mm.

Este acoplamiento mostrado en la Figura 2-17, cuenta con un maquinado diseñado para sujetar el encoder que activará la señal de giro para los sensores ópticos.



Fig. 2-17 Acople para las flechas de los rotores

El Motor Eléctrico así como el Generador están montados sobre una base de Aluminio cada uno de forma independiente, los cuales se pueden sujetar a cualquier base plana por medio de dos tornillos. Entonces, cada máquina eléctrica de las antes mencionadas lleva acoplada a su carcasa los Sensores Ópticos necesarios para la medición de la velocidad angular de la Flecha y en ésta los Encoders para activar dichos sensores. El conjunto armado se puede observar en la figura 2-18, la cual muestra una vista elevada de frente donde se aprecia la placa de aluminio que sirve como base con sus dos barrenos para sujeción por medio de tornillos. El Motor se sujeta a ésta placa por medio de un barreno roscado en su carcasa al frente y con una placa de acrílico en el fondo.



Figura 2-18 Montaje de las Máquina Eléctricas (Motor Eléctrico y Generador)

La figura 2-19 muestra una vista de perfil de la flecha del rotor donde se puede apreciar más claramente la posición del sensor óptico.

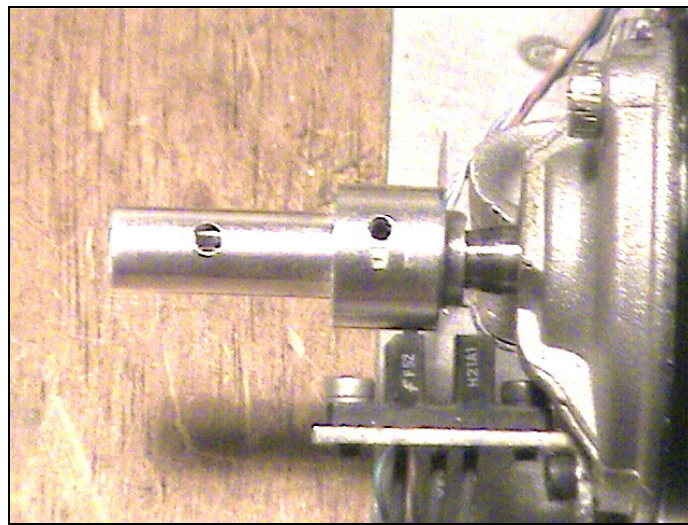


Fig. 2-19 Rotor de Máquinas Eléctricas (Motor y Generador)

2.2.1.8 INSTALACIÓN DEL MOTOR TÉRMICO

El Motor Térmico se instala sobre una base de placa de aluminio por medio de dos vigas atornilladas por ambos extremos. Tiene acoplado el servomotor al eje del carburador y está sujeto a la placa base de aluminio, lo mismo que el sensor óptico que se encuentra cerca de la flecha del cigüeñal como se muestra en la Figura 2-20. Entre el Servomotor y el Motor Térmico se encuentra la resistencia disipadora para conectar la bujía a la batería de 12V. Atrás del Motor Térmico se ha sujetado un ventilador para su enfriamiento. A un lado del silenciador del escape se instaló el tanque de combustible con sus mangueras de alimentación.

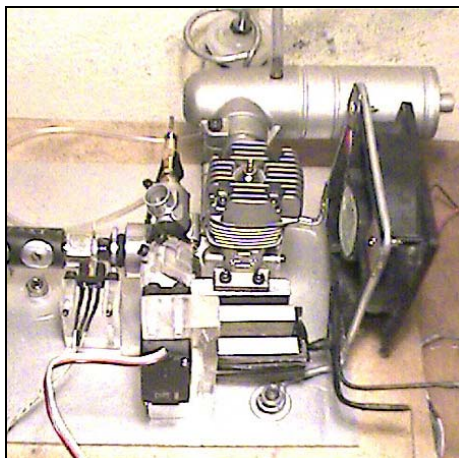


Fig. 2-20 Conjunto Motor Térmico

2.2.2 ACTUADORES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

A continuación describiremos las características principales de los componentes eléctricos y electrónicos que emplearemos en la construcción del Prototipo Didáctico.

2.2.2.1 BATERÍA

Para el Sistema de carga de batería se empleará al generador como fuente de energía y un sistema de relevadores para conectar o desconectar la batería según las necesidades y desempeño del prototipo. La Figura 2-21 muestra una imagen de la batería SERCOM empleada.

Fig. 2-21 Batería empleada en el *Prototipo Didáctico*.

Las características de la batería empleada son:

- Marca: SERCOM
- Tipo: Plomo-acido
- Voltaje: 12 [v]
- Corriente: 12 A-h
- Batería sellada libre de mantenimiento

2.2.2.2 SERVOMOTOR

Para controlar la apertura o cierre del estrangulador de aire del carburador del Motor Térmico empleamos un servomotor. Un servomotor es un pequeño dispositivo utilizado generalmente en radio control. Popularmente reciben el nombre de “servos” y suelen usarse para el control de modelismo a distancia, actuando sobre el acelerador de un motor de combustión, en el timón de un barco o de un avión, en el control de dirección de un coche, etc. Su pequeño tamaño, bajo consumo, además de ser robusto y notablemente preciso, lo hacen ideal para ésta aplicación dentro del Prototipo.

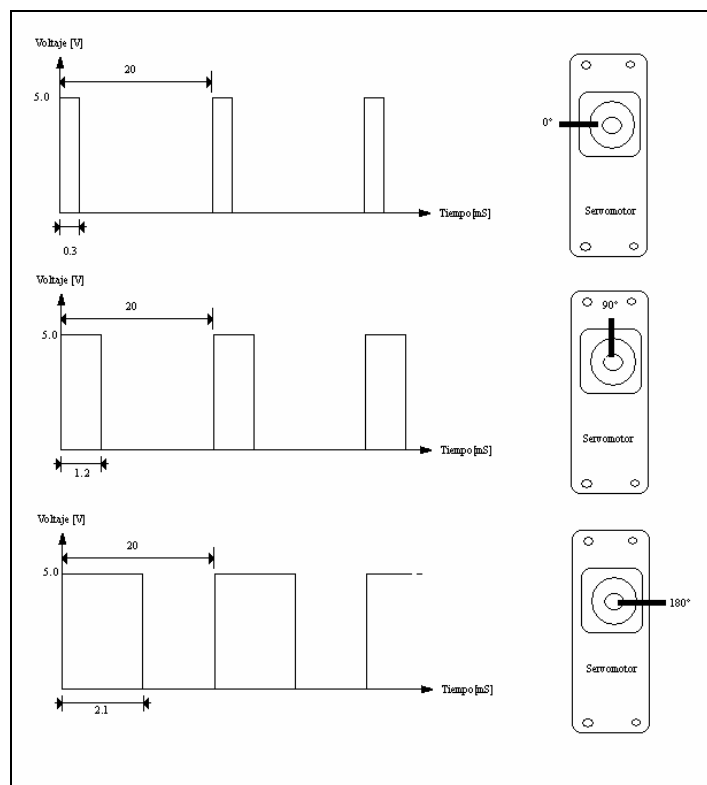


Fig. 2-22 Tren de pulsos para control de un Servomotor

Un servomotor está constituido por un pequeño motor de corriente continua, unas ruedas dentadas que trabajan como reductoras, lo que le da una potencia considerable, y una pequeña tarjeta de circuito impreso con la electrónica necesaria para su control. Debido

a la reductora mecánica formada por las ruedas dentadas, un servo estándar como el Hitec HS-311 tiene un torque de 3 Kg-cm y una velocidad constante y proporcional a la carga.

La tensión de alimentación de los servos suele estar comprendida entre los 4 y 8 voltios. El control de un servo se limita a indicar en qué posición se debe situar, mediante una señal cuadrada TTL modulada en anchura de impulsos PWM (*Pulse Width Modulation*). La duración del nivel alto de la señal indica la posición angular donde queremos poner el eje del motor. El potenciómetro que el servomotor tiene unido solidariamente al eje del motor indica al circuito electrónico de control interno mediante una retroalimentación, si éste ha llegado a la posición deseada.

La duración de los impulsos indica el ángulo de posición deseada del motor. Cada servomotor tiene sus márgenes de operación, que se corresponden con el ancho de pulso máximo y mínimo que el servo entiende y que, en principio, mecánicamente no puede sobrepasar. Estos valores cambian dependiendo del modelo del servomotor utilizado. Para el servo Hitec HS311, mostrado en la Figura 2-23, los valores de la señal a nivel alto están entre 0.3 y 2.1 ms, que dejarían al motor en ambos extremos de giro, como se muestra en la Figura 2-22. El valor 1.2 ms indicaría la posición central, mientras que otros valores de anchura de pulso lo dejan en posiciones intermedias que son proporcionales a la anchura de los impulsos. Si se sobrepasan los límites de movimiento del servo, éste comenzará a vibrar o a emitir un zumbido, denunciando un cambio en la anchura de pulso.

El periodo entre pulso y pulso no es crítico. Se suelen emplear valores entre 10 ms y 30 ms, aunque lo habitual es utilizar 20 ms, que implica una frecuencia de 50 Hz. Si el intervalo entre pulso y pulso es inferior al mínimo puede interferir con la temporización interna del servo causando un zumbido y la vibración del brazo de salida. Si es mayor que el máximo, entonces el servo pasará a estado dormido entre pulsos provocando que se mueva a pequeños intervalos.

Es importante destacar que para que un servo se mantenga en la misma posición, es necesario enviarle continuamente un pulso de anchura constante. De este modo si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición intentará resistirse. Si se deja de enviar pulsos, o el intervalo entre pulsos es mayor del máximo permitido, entonces el servo perderá fuerza y dejará de intentar mantener su posición, de modo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo.

Las características del Servomotor son:

- Marca: Hitec
- Modelo: HS-311 Standard
- Carcasa sellada de Plástico

- Velocidad de operación: Abate 60° en 0.19 segundos @ 4.8 Volts de alimentación.
- Torque de Salida: 3 kg*cm @ 4.8 Volts
- Peso: 43 g
- Dimensiones: 40 x 20 x 37 mm

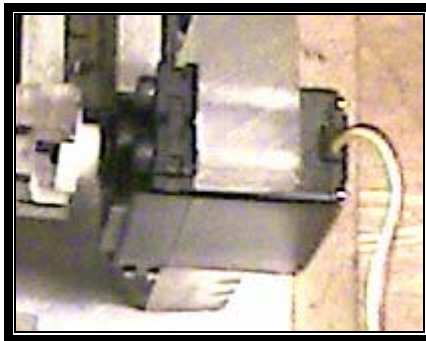


Fig. 2-23 Fotografía del servomotor montado en la base del motor térmico.

2.2.2.3 SENSOR ÓPTICO DE VELOCIDAD ANGULAR

Para medir la velocidad angular de las flechas de los elementos rotativos empleamos sensores ópticos de barrera denominados comercialmente como H21A1. Estos sensores tienen como emisor un diodo de infrarrojos y como receptor un fototransistor. En éste caso el emisor y el receptor están enfrentados a una distancia de 3 mm y entre ellos existe un espacio para que un objeto pueda introducirse e interrumpir el haz de luz infrarroja.

	Condiciones de prueba	Símbolo	Valor Mínimo
Corriente de colector Transistor saturado	$I_F=5\text{mA}$, $V_{CE}=5\text{V}$	$I_{C(ON)}$	0.15 mA
	$I_F=20\text{mA}$, $V_{CE}=5\text{V}$	$I_{C(ON)}$	1.0 mA
	$I_F=30\text{mA}$, $V_{CE}=5\text{V}$	$I_{C(ON)}$	1.9 mA
Tensión de saturación	$I_F=30\text{mA}$, $I_C=1.8\text{mA}$	$V_{CE(SAT)}$	0.40 V

Tabla 2-3 Valores de prueba para distintos niveles de I_F .

El circuito de aplicación para éste tipo de dispositivos es similar al de la figura 2-24. Los valores de las resistencias de polarización deben limitar la corriente por el diodo emisor I_F a 60 mA y por el colector del transistor a una corriente I_C no superior a 20 mA. El fabricante facilita los valores de prueba indicados en la tabla 2-3

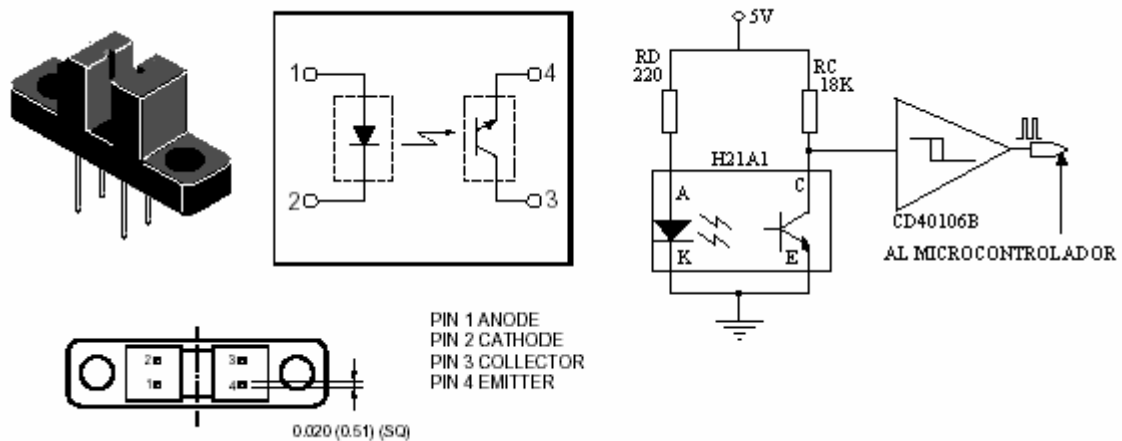


Figura 2-24 Sensor Óptico de Barrera H21A1

2.2.2.4 RELEVADORES

Los relevadores son dispositivos de conmutación eléctrica empleados para manejar las cargas eléctricas más demandadas en el prototipo, como son el arranque del Motor Térmico y los procesos de carga de batería. El principio de funcionamiento de los relevadores es el accionamiento de un interruptor eléctrico por medio de la magnetización de una pequeña bobina para abrir o cerrar un circuito según se requiera. La principal ventaja de los relevadores es que presentan una resistencia eléctrica muy pequeña y por lo tanto se tienen pocas pérdidas de energía y aunque los tiempos de conmutación son muy largos con respecto a los dispositivos equivalentes en electrónica de potencia, su control es muy sencillo.

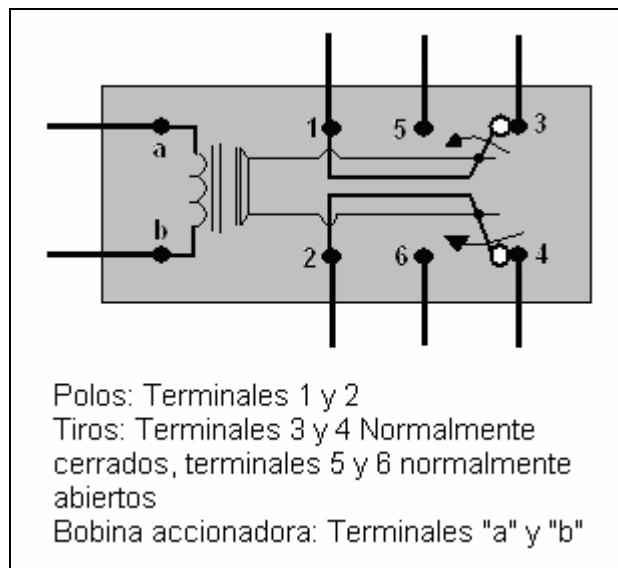


Fig. 2-25 Esquema de relevador de 2 polos, 2 tiros

Existen diversos tipos de relevadores, los que empleamos de manera externa a la *Tarjeta Electrónica de Potencia* son denominados de dos polos y dos tiros. Esto significa que existen dos líneas eléctricas que se pueden interrumpir y que cada una se pueda conmutar entre dos líneas.

Su diagrama esquemático es como se muestra en la Figura 2-25.

2.2.3 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control para el *Prototipo Didáctico* tiene como componentes principales dos microcontroladores de la marca "Microchip". Empleamos los modelos denominados PIC16F874 y el PIC16F84A. Estos microcontroladores tienen la característica de ser relativamente baratos y de tener los manuales y software de apoyo ofrecidos por el fabricante a disposición en su página de Internet y son de libre distribución. El microcontrolador PIC16F874, cuyo diagrama de conexiones es mostrado en la Figura 2-26, tiene la ventaja de ser un microcontrolador "rápido" pues funciona con un oscilador de 20 Mhz. Este microcontrolador lo disponemos como el microcontrolador principal dada su rapidez de operación, y atiende la mayoría de los procesos de control del sistema. El microcontrolador PIC16F84A, cuyo diagrama de conexiones es mostrado en la Figura 2-27, es un poco más lento que el anterior pues trabaja con un oscilador de 4 Mhz y éste lo disponemos como microcontrolador secundario o esclavo y está encargado de los procesos "lentos" como la señal PWM del Servomotor así como el proceso de arranque del motor térmico que dura aproximadamente más de un minuto. Ambos microcontroladores se comunican por medio de unos pines que tienen conectados entre sí con señales específicas cada uno. Los diagramas mostrados a continuación se refieren a los microcontroladores antes mencionados con la identificación de cada uno de sus pines y algunas características específicas.

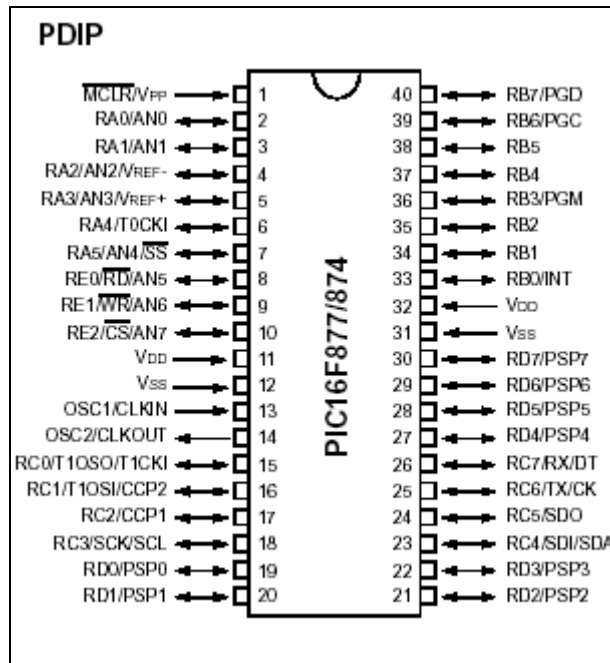


Fig. 2-26 Esquema del microcontrolador PIC16F874.

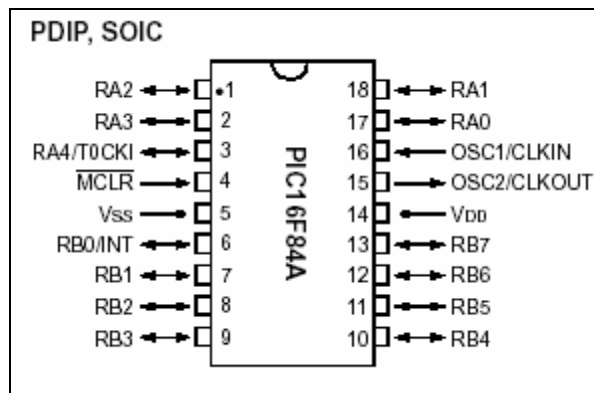


Fig. 2-27 Esquema del microcontrolador PIC16F84A.

2.3 ALCANCE DEL CAPÍTULO II

La información presentada en éste capítulo servirá como base para desarrollar el detalle de los distintos elementos que integran al Prototipo Didáctico.

CAPÍTULO 3 DISEÑO DE DETALLE

La información del apartado anterior sirvió como base para que en éste capítulo se describa a detalle los componentes mecánicos y de control que integran al Prototipo desarrollado.

3.1 DISEÑO MECANICO

El diseño mecánico consiste en la elaboración de las estructuras sobre las que se montarán los diversos dispositivos y elementos como son los motores eléctricos, el motor térmico, los acoplamientos de sus flechas, sensores, el tablero de control y sus elementos eléctricos, relevadores y tarjetas electrónicas así como la base principal.

El Prototipo didáctico tiene una base principal cuadrada de placa de aluminio de 40 centímetros de lado sobre la que van montados todos los dispositivos empleados en dicho prototipo y está conectado eléctricamente a los cero volts de la batería.

Las dos máquinas eléctricas empleadas como Motor y Generador están montadas cada una sobre una estructura compuesta de una placa de aluminio y un tramo de acrílico como se muestra en la figura 3-1. Se aprovechó el tornillo que tenía implementado el motor eléctrico en su carcasa para tomarlo como punto de sujeción a la placa de aluminio. Esta placa de aluminio tiene dos barrenos con los cuales será sujetado a la Placa base.

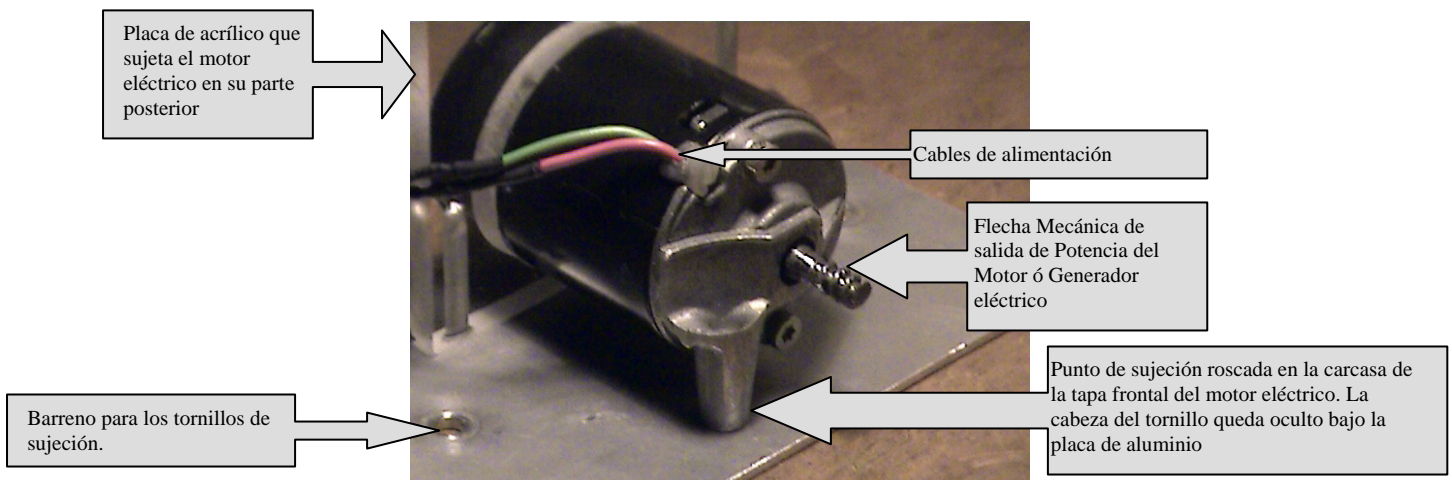


Fig. 3-1 Estructura de sujeción del Motor o Generador Eléctrico.

El Motor térmico *Súper Tigre* está montado sobre una placa de aluminio del mismo grosor pero de mayor área por medio de dos vigas de aluminio con cuatro barrenos roscados para sujetarlos con tornillos de 3 mm. Se añaden a ésta placa base un acrílico de características tales que colocará el Servomotor frente al carburador para acoplarlo a éste. Detrás del motor eléctrico está montado un ventilador eléctrico sujeto por tornillos. A un lado del motor está instalada la resistencia eléctrica de potencia que conecta la bujía con la batería. La figura 3-2 muestra una vista del montaje del motor térmico.

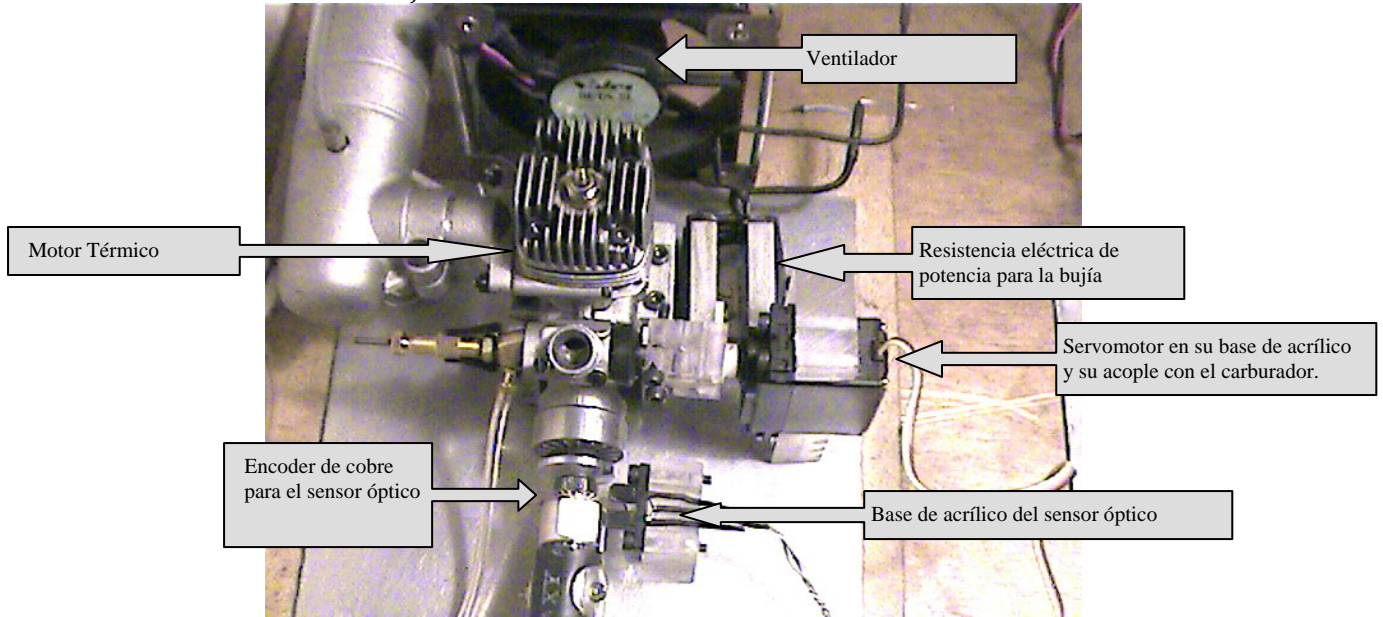


Fig. 3-2 Vista del montaje del Motor Térmico

Una vez montado el Motor Térmico y el Generador eléctrico, los acoplamos directamente por medio de un par de piezas de aluminio que se colocan sobre los ejes y se aseguran mediante opresores y las cuales portan los Encoder necesarios para realizar la medición de la velocidad angular de las flechas. La figura 3-3 muestra los acoplamientos de los ejes.

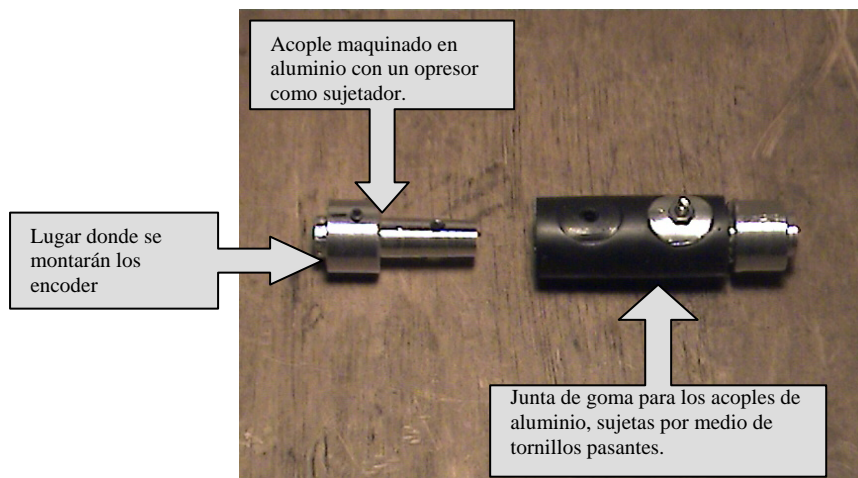


Fig. 3-3 Vista de los acoplos de los ejes de los motores.

Cuando se han acoplado los ejes del motor térmico y del generador, se barrena la base de la placa de aluminio base para sujetarlos como se muestra en la figura 3-4.

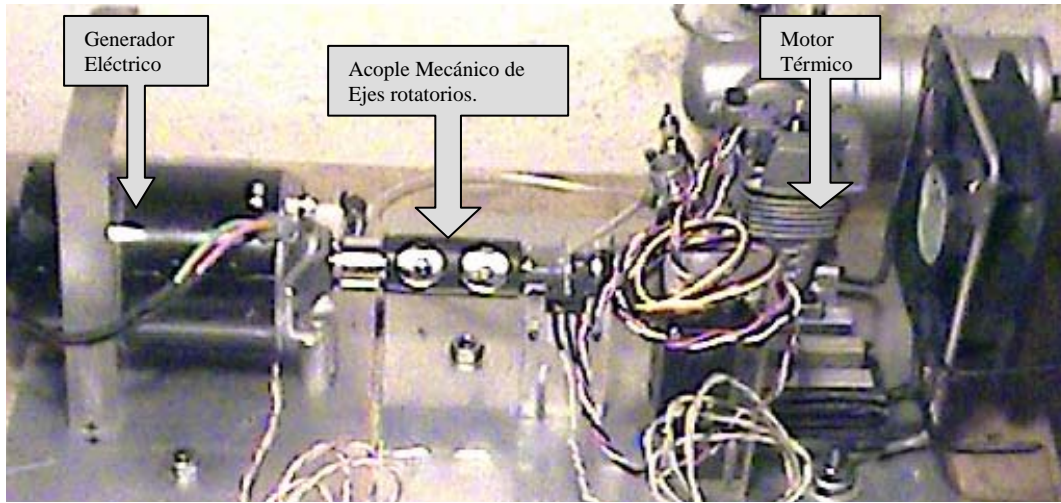


Fig. 3-4 Vista del acoplamiento del Motor Térmico y del Generador.

El motor eléctrico no está acoplado por el momento a ningún otro dispositivo, por lo que su posición en la placa base de aluminio no es de relevancia aún y se busca un lugar que permita economizar espacio.

Por otro lado, los potenciómetros serán instalados en una placa de aluminio que será llamado el *Tablero de Control* y que contará además con un botón pulsador de color rojo y un display para mostrar datos de forma gráfica. La figura 3-5 muestra una vista de dicho tablero de control con todos sus componentes instalados por medio de tornillos.

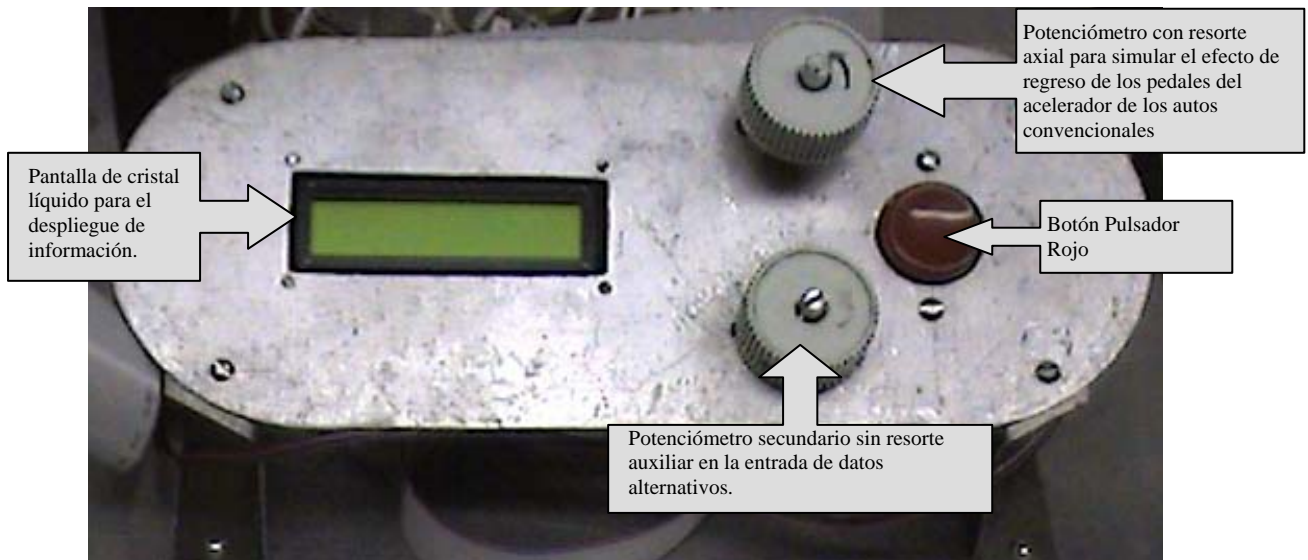


Fig. 3-5 Vista frontal del Tablero de Control.

Ahora sólo falta instalar los relevadores externos, la batería y las tarjetas electrónicas. La batería, por el peso que representa se coloca al centro de la Placa, y los relevadores se sujetan por medio de una lámina de acero doblada y atornillada y se coloca entre el tablero de control y el motor térmico. La figura 3-6 muestra el ensamble general del Prototipo sobre la placa base y su aspecto final.

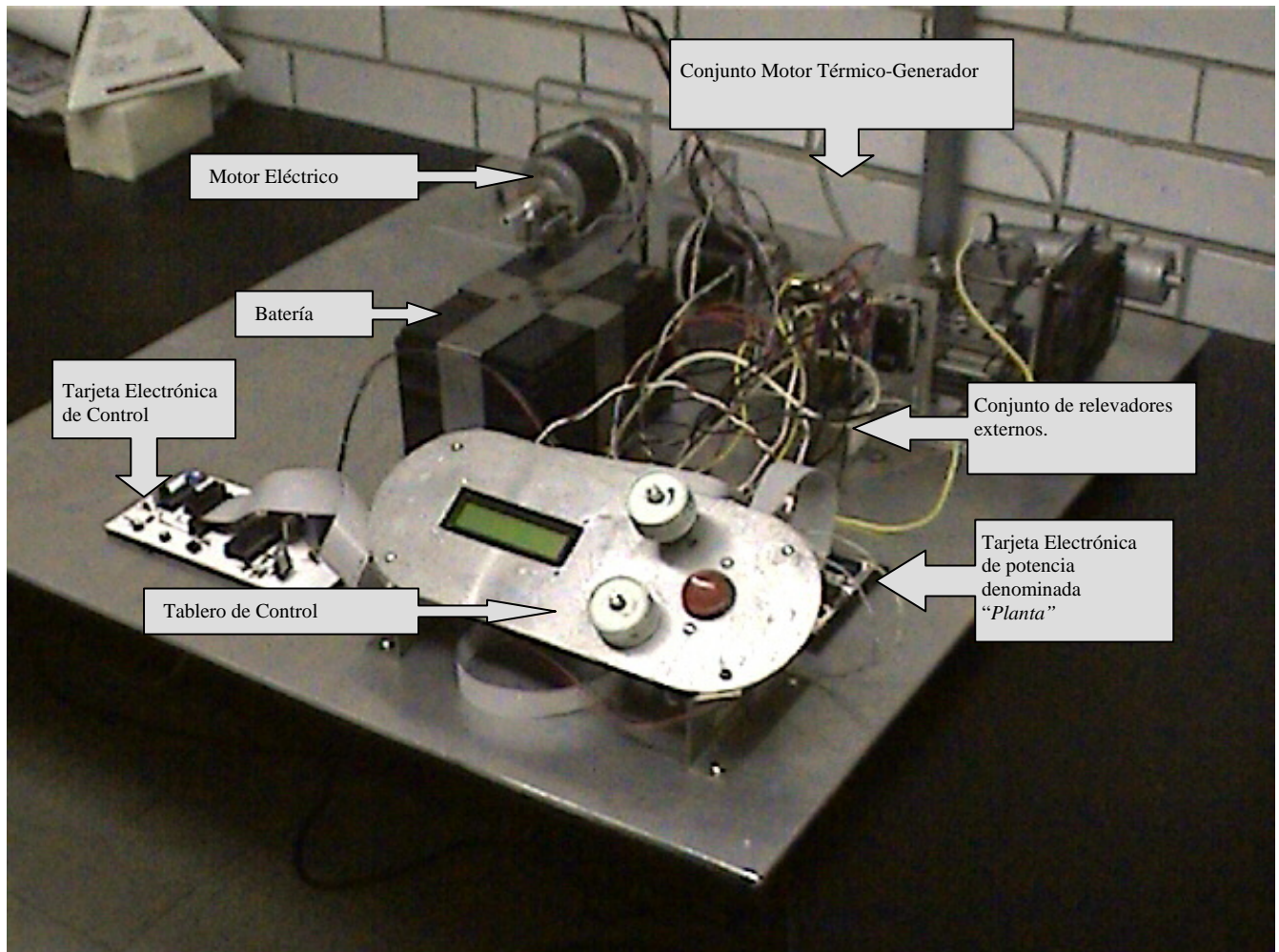


Fig. 3-6 Vista de conjunto del Prototipo Didáctico

3.2 DISEÑO ELECTRÓNICO

A continuación se explica a detalle el diseño de las partes y dispositivos electrónicos de los que está compuesto el Prototipo Didáctico, como son las principales conexiones entre dispositivos y microcontroladores y los circuitos básicos que se deben implementar para el correcto funcionamiento de cada dispositivo.

3.2.1 COMUNICACIÓN ENTRE MICROCONTROLADORES

La comunicación entre los microcontroladores PIC16F874 y PIC16F84A se da entre los pines 37, 38 y 39 del primero y el 6, 12 y 17 del segundo. Para transmitir el dato del ángulo necesario en el servomotor se emplea un pin en cada microcontrolador por medio de la línea denominada “Serial Data” marcada en el diagrama “Híbrido Control” que se encuentra en el Apéndice C, siendo el flujo de información para éste efecto siempre del PIC16F874 al PIC16F84A. La transmisión del dato del ángulo se basa en el sistema de comunicación serial de protocolo RS232 con algunas modificaciones. El cronograma de la Figura 3-7 muestra la forma en que se realiza la transmisión del dato. Hay dos datos posibles a mandar, uno es el ángulo que requiere el microcontrolador maestro en el Servomotor y el otro es la señal de arranque del Motor Térmico.

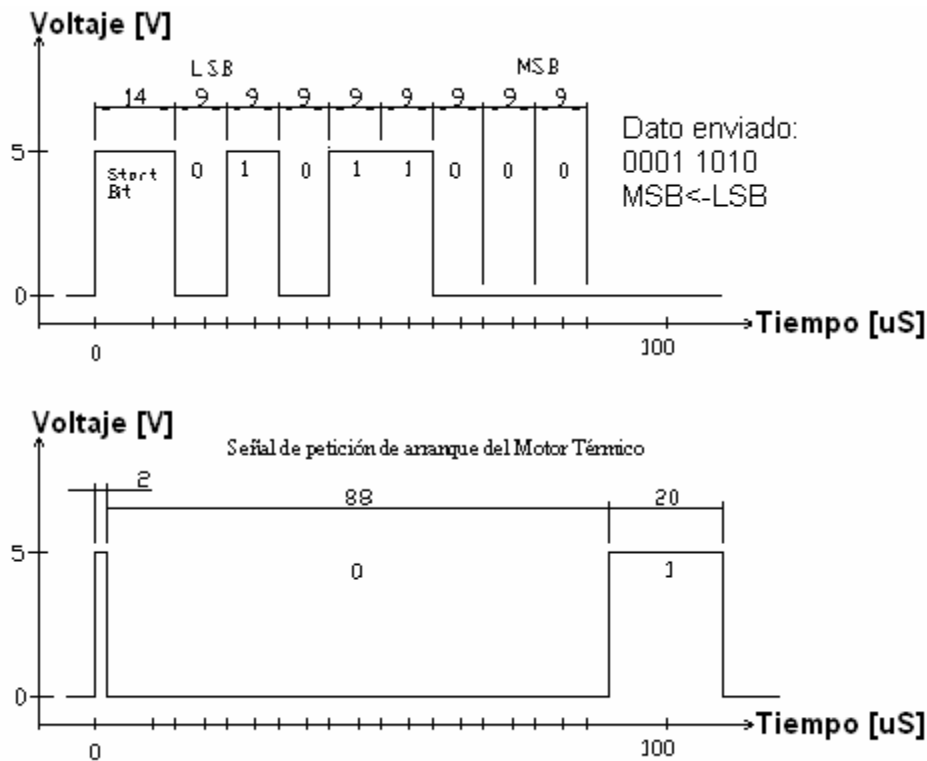


Fig. 3-7 Cronograma de comunicación de Datos entre los microcontroladores

El dato del ángulo del Servomotor se envía comenzando cuando el microcontrolador maestro (PIC16F874) da un pulso alto en la línea de comunicación durante 14 microsegundos, éste pulso denominado “Start bit” indica que ha comenzado el envío de la información. El microcontrolador esclavo (PIC16F84A) tiene configurado el pin del puerto donde se conecta la línea de comunicación como entrada y activada la interrupción por cambio de estado. De modo que cuando recibe el “bit start” el microcontrolador esclavo reconoce que se le está enviando información y enfoca su atención a recibir el dato en cuestión. Después del “Bit

Start” se envían los ocho bits de datos con una duración de 9 microsegundos cada uno, comenzando por el bit menos significativo (LSB) y concluyendo con el bit más significativo (MSB). Una vez terminado el último bit, la línea de comunicación se deja en cero lógico (cero volts).

La señal de petición de arranque del motor térmico por parte del microcontrolador maestro se hace enviando un pulso inicial de 2 microsegundos, aguarda 88 microsegundos en cero y entonces envía un pulso de 20 microsegundos. Esta señal es así para evitar errores durante la comunicación y estar completamente seguro de que el microcontrolador esclavo ha recibido la señal de arranque del Motor Térmico y no la del ángulo del Servomotor.

El microcontrolador esclavo (PIC16F84A) tiene dos funciones fundamentales. La primera consiste en establecer la señal PWM necesaria para controlar el movimiento angular de la flecha del Servomotor, la cual tiene una frecuencia de 100 Hz que no se puede reproducir con el PWM del microcontrolador maestro (PIC16F874) que es de 1.2 KHz mínimo. La segunda función principal del microcontrolador esclavo es la de controlar el proceso de arranque del motor térmico, el cual es un proceso que demanda retardos demasiado largos. Por lo anterior se decide insertar al sistema de control el microcontrolador esclavo para liberar de actividades al microcontrolador maestro que está destinado a controlar los parámetros del sistema híbrido en conjunto y evitar “distracciones” de éste en otras actividades de índole secundario.

3.2.2 PARÁMETROS DE CONTROL DEL ÁNGULO DEL SERVOMOTOR

El ángulo del Servomotor se envía por medio de comunicación serial como se mostró en los párrafos anteriores del microcontrolador PIC16F874 al PIC16F84A. Ahora se muestra la proporción del ángulo barrido por el brazo del Servomotor respecto al valor del Byte recibido durante la comunicación. La figura 3-8 muestra la relación entre la duración del pulso de la señal del Servomotor, el ángulo abatido por éste y el valor en sistema binario del byte enviado.

Se puede observar que por cada incremento unitario del byte del ángulo del Servomotor, el pulso aumenta su duración en 3 microsegundos más y esto corresponde a un aumento de 0.35° en el ángulo abatido por la flecha del Servo. De modo que al enviarle el byte (1111 1111_{binario}, 255_{decimal}) se obtendrá un pulso de 1.345[ms] para la señal del Servomotor, y su flecha estará a 90° de su posición inicial.

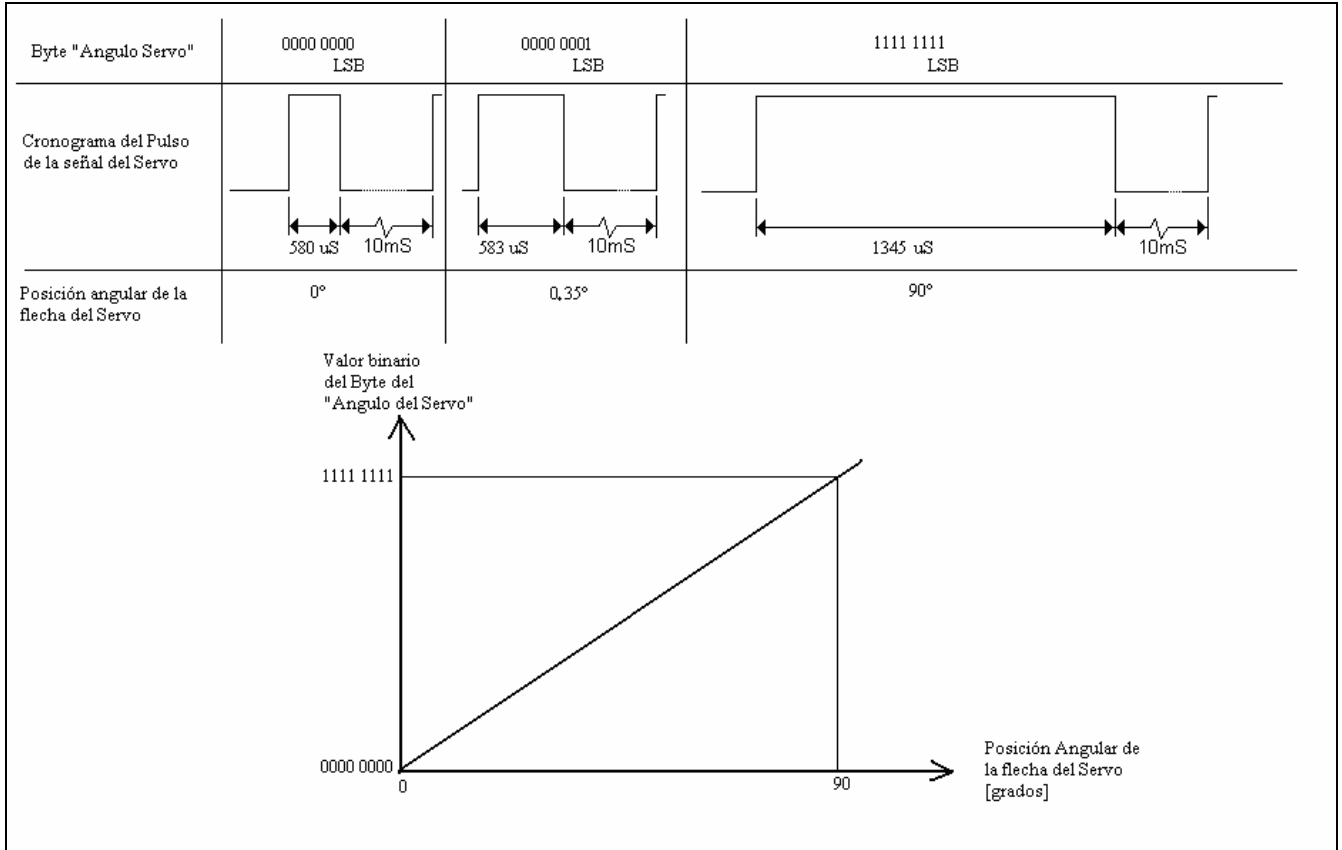


Fig. 3-8 Parámetros del ángulo del Servo

3.2.3 PARÁMETROS DE MEDIDA DE CARGA EN LA BATERÍA

El valor de la carga de la batería se mide por el voltaje que presenta en sus terminales, teniendo por valor nominal 12 [v]. Si embargo cuando se demanda energía de la batería éste voltaje disminuye hasta agotarse si la demanda es continua. Por lo tanto se puede considerar a la batería eléctrica como un reservorio de energía. La disminución del voltaje en la batería para el sistema híbrido tiene dos límites inferiores. El primero es el voltaje mínimo con el cual se puede arrancar el motor térmico con seguridad, y el segundo es el voltaje mínimo de entrada de los reguladores voltaicos de los circuitos electrónicos. El primer límite se encontró por experimentación y es de 10 volts, y el segundo de 7 volts según el fabricante de los reguladores. Por lo tanto, el valor mínimo de carga en la batería corresponde a 10 volts para que el sistema funcione correctamente, y éste dato debe considerarse en el diseño del software del sistema de control.

El microcontrolador maestro (PIC16F874) tiene un convertidor analógico-digital que se emplea como su nombre lo indica para convertir valores analógicos de voltaje en valores digitales capaces de ser interpretados por el microcontrolador. Dicho dispositivo tiene la

capacidad de leer diversos voltajes a través de algunos pines que tiene para éste efecto. Los rangos de voltaje que se pueden leer oscilan entre los 0 volts y los 5 volts de alimentación del microcontrolador.

Para que el valor del voltaje de la batería pueda ser leído por el microcontrolador se disminuye por medio de un divisor de voltaje formado por dos resistencias en serie de valores que permitan obtener los 5 volts cuando la batería posee su voltaje nominal de 12 volts. La configuración del divisor de voltaje es como se muestra en la figura 3-9.

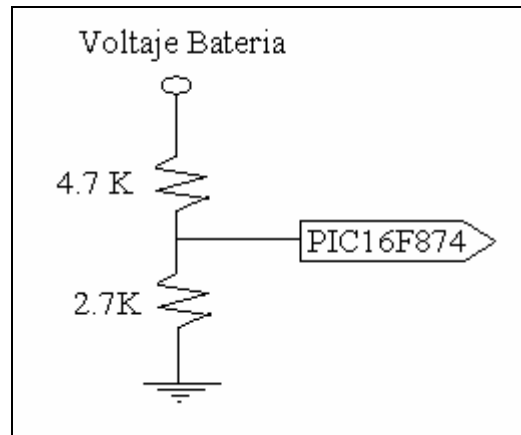


Fig. 3-9 Divisor de voltaje para medir la carga de la batería.

Por medio de experimentación se observó la curva de la carga de la batería con respecto al valor del convertidor analógico-digital en un registro de 8 bits incluido dentro del microcontrolador maestro denominado ADRESH como se muestra en la figura 3-10.

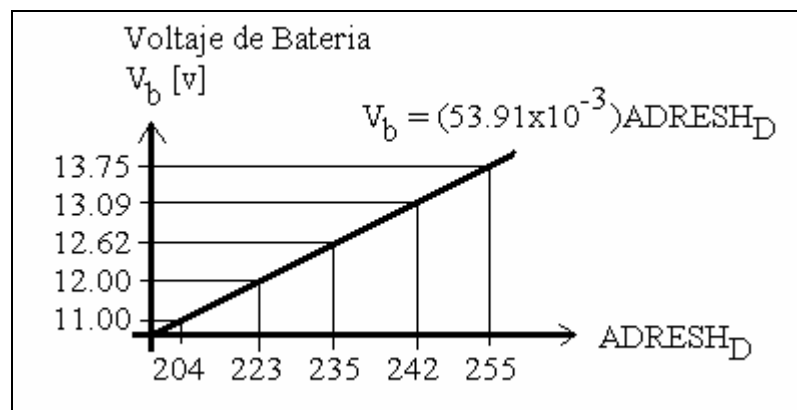


Fig. 3-10 Curva de relación entre el voltaje de la batería y el valor digital obtenido en la conversión Análogo-Digital

3.2.4 PARÁMETROS DEL ENCODER PARA LA MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE LOS EJES ROTATORIOS

La medición de la velocidad de los ejes rotatorios del motor eléctrico, el generador y el motor térmico se realizan por medio de la señal emitida por los sensores ópticos a través de los encoders. Estos últimos, tienen una geometría definida por las características de los sensores ópticos. Considerando que el Motor Térmico puede girar a 16500 RPM como velocidad máxima, tomamos ésta velocidad como la velocidad angular máxima que puede alcanzar el sistema. Del manual del fabricante de los sensores ópticos sabemos que los tiempos de conmutación entre un estado de encendido y apagado son como los que se muestran en la tabla 3-1.

Descripción	Tiempo en microsegundos
Tiempo de apagado	50 uS
Tiempo de encendido	8 uS

Tabla 3-1 Tiempos de encendido y apagado para el fototransistor del sensor óptico H21A1.

La abertura por la que transita la señal de luz infrarroja en la carcasa del sensor óptico, tiene una anchura de 0.85 mm, por lo tanto, el encoder en sus aberturas debe medir más que este último dato para que puedan interrumpir o dejar pasar la señal luminosa por completo. El encoder consta de 24 dientes con las medidas mostradas en la figura 3-11.

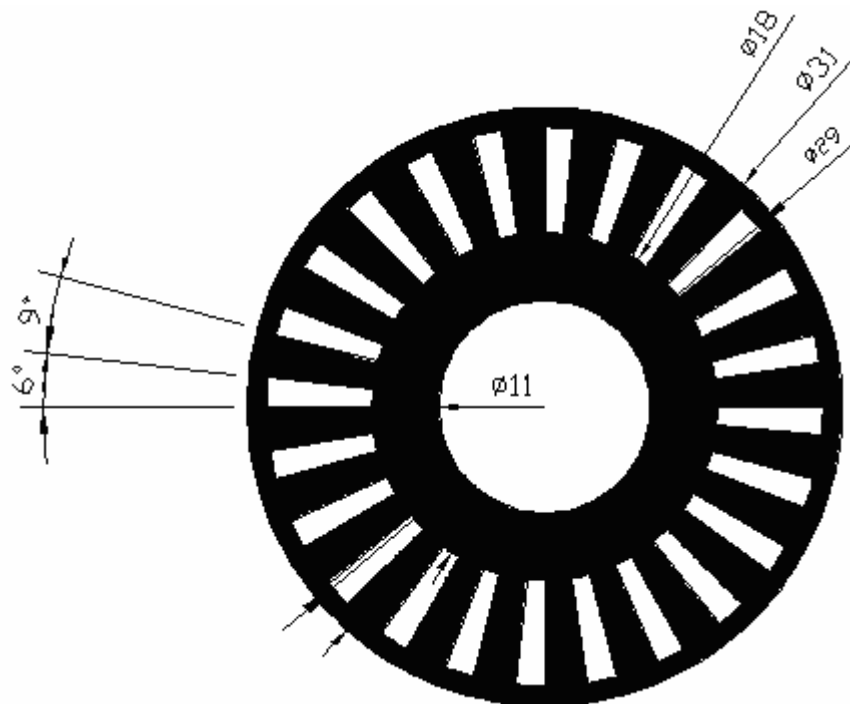


Fig. 3-11 Encoder empleado para la medición de velocidad de los ejes rotatorios. Cotas en mm.

Ya con las características del encoder analizamos su cinemática considerando el tiempo de muestreo (*Temporización*) de la señal de los sensores ópticos durante la medición de velocidad angular de las flechas hecho por el microcontrolador maestro, que se obtiene de la siguiente fórmula según el manual del fabricante del microcontrolador:

$$\text{Temporización} = T_{CM} * \text{Prescaler} * (256 - \text{Carga TMR0})$$

Donde:

Temporización: Es el tiempo programado en el microcontrolador maestro en el que se leerá la señal del encoder.

T_{CM} : Periodo de ciclo máquina definido para éste microcontrolador en particular como 0.2 microsegundos que se obtiene al dividir 4 entre la frecuencia del oscilador (20MHz).

Prescaler: Se programa en el microcontrolador de una serie de valores dados por el fabricante, del que se escoge el mayor que es de 256.

Carga TMR0: Igual que el anterior, se programa previamente un valor entre 0 y 255, para obtener el mayor tiempo de temporización posible se asigna cero al valor de "carga TMR0".

Por lo tanto, la *Temporización* obtenida sustituyendo los datos en la fórmula es de 13.11 milisegundos. Durante éste tiempo, el microcontrolador cuenta los cambios de estado de los fototransistores por el cruce de los encoders. Para una velocidad angular de 17500 RPM o 1832.6 [rad/s] el encoder abate un ángulo de 24 radianes y según la fórmula siguiente:

$$\# \text{CambiosdeEstado} = \frac{\theta_{abatido}}{\theta_{hueco} + \theta_{Diente}} \cdot 2$$

$$\# \text{CambiosdeEstado} = \frac{24[\text{rad}]}{0.105[\text{rad}] + 0.157[\text{rad}]} \cdot 2 = 183[\text{CambiosdeEstadoContados}]$$

El sensor óptico realiza 183 cambios de estado entre unos y ceros lógicos. Con éstos datos podemos armar la siguiente gráfica de la figura 3-12 que ilustra el valor del registro "contador" interno en el microcontrolador maestro que se encarga, como su nombre lo indica, de contar los cambios de estado por el sensor óptico durante el giro del encoder.

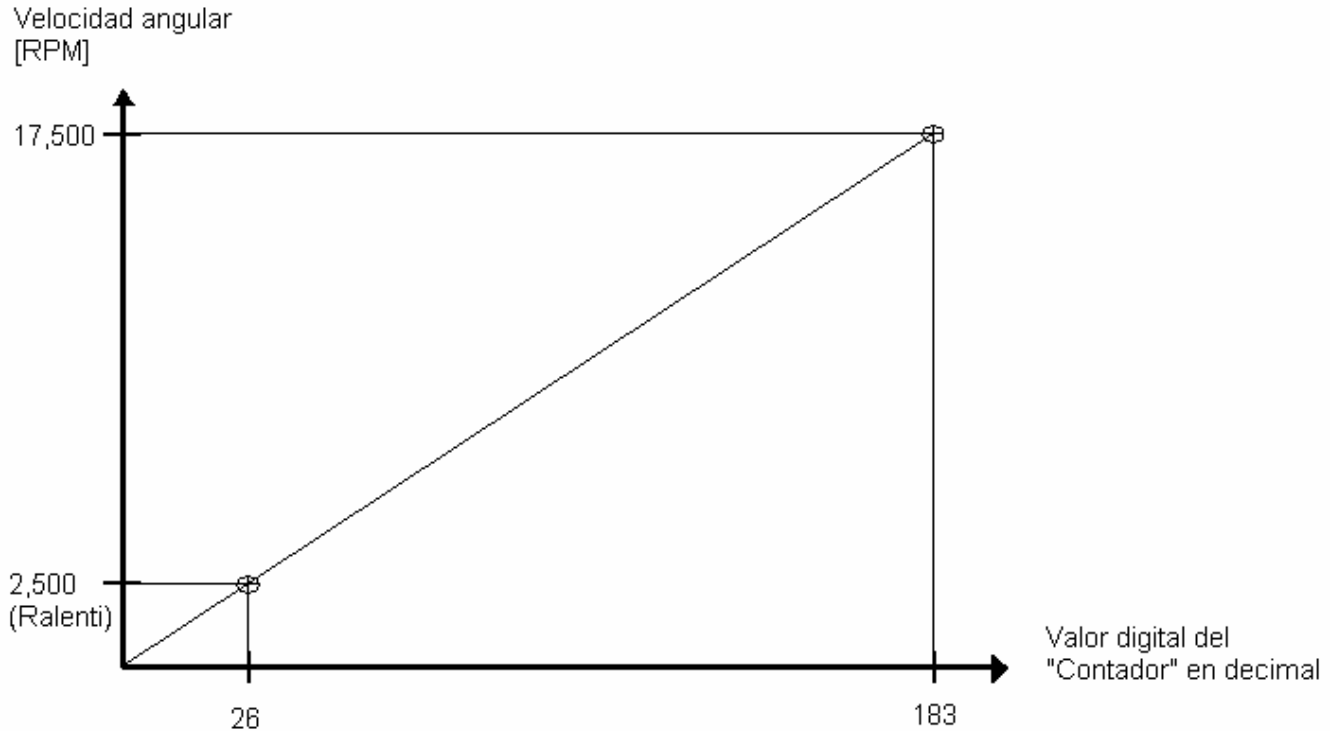


Fig. 3-12 Relación entre la velocidad angular del encoder y el valor digital del conteo de los cambios de señal en el opto transistor del sensor óptico.

3.2.5 UBICACIÓN DE COMPONENTES Y CONEXIONES EN LA PLACA PLANTA.

La placa fenólica que contiene la mayoría de los elementos electrónicos de potencia es denominada la "Placa Planta". Sobre ella conectamos los relevadores, la bujía, el ventilador, los sensores ópticos de los encoders, los potenciómetros, el botón rojo y el servomotor, y de ser necesario, algunos Led's para monitorear visualmente las señales de las tarjetas. En la figura 3-13 se muestra un diagrama esquemático donde se indica el lugar donde se conectarán los distintos dispositivos a la placa.

Hay conectadas a la Placa Planta tres relevadores de potencia de dos polos y dos tiros cada uno, que a su vez van conectados al Motor Eléctrico y al Generador por medio de cables de calibre 18 AWG y zapatas planas de bronce de 3/16" según se muestra en el diagrama de la figura 3-14. El relevador K2 tiene como función principal ser un puente H para el generador de modo que puede invertir la polaridad de sus terminales. El relevador K3 activa la llamada frenada regenerativa, es decir, hace trabajar al motor eléctrico en su modalidad de generador. Por último, el relevador K4 permite el cambio de polaridad de las terminales del motor eléctrico, de modo que puede cambiar el sentido de giro de éste motor.

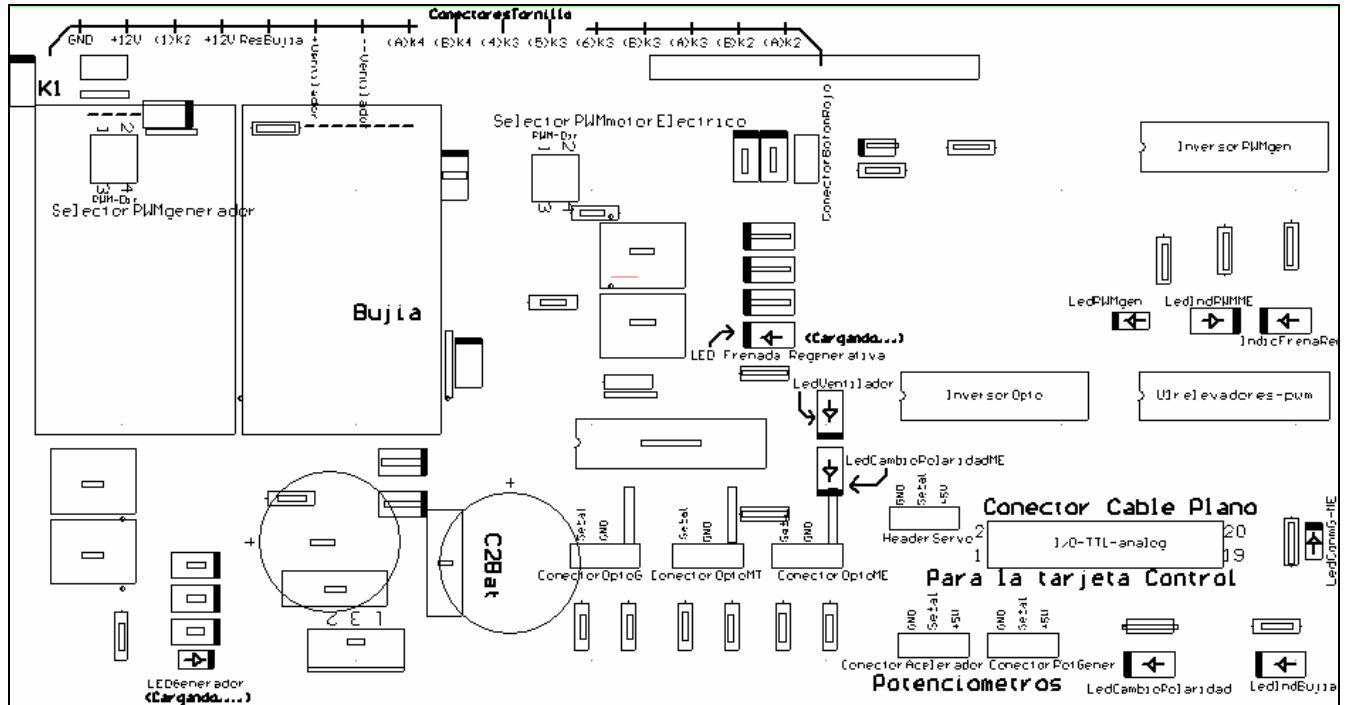


Fig. 3-13 Plano de ubicación de componentes y conexiones de la "Placa Planta".

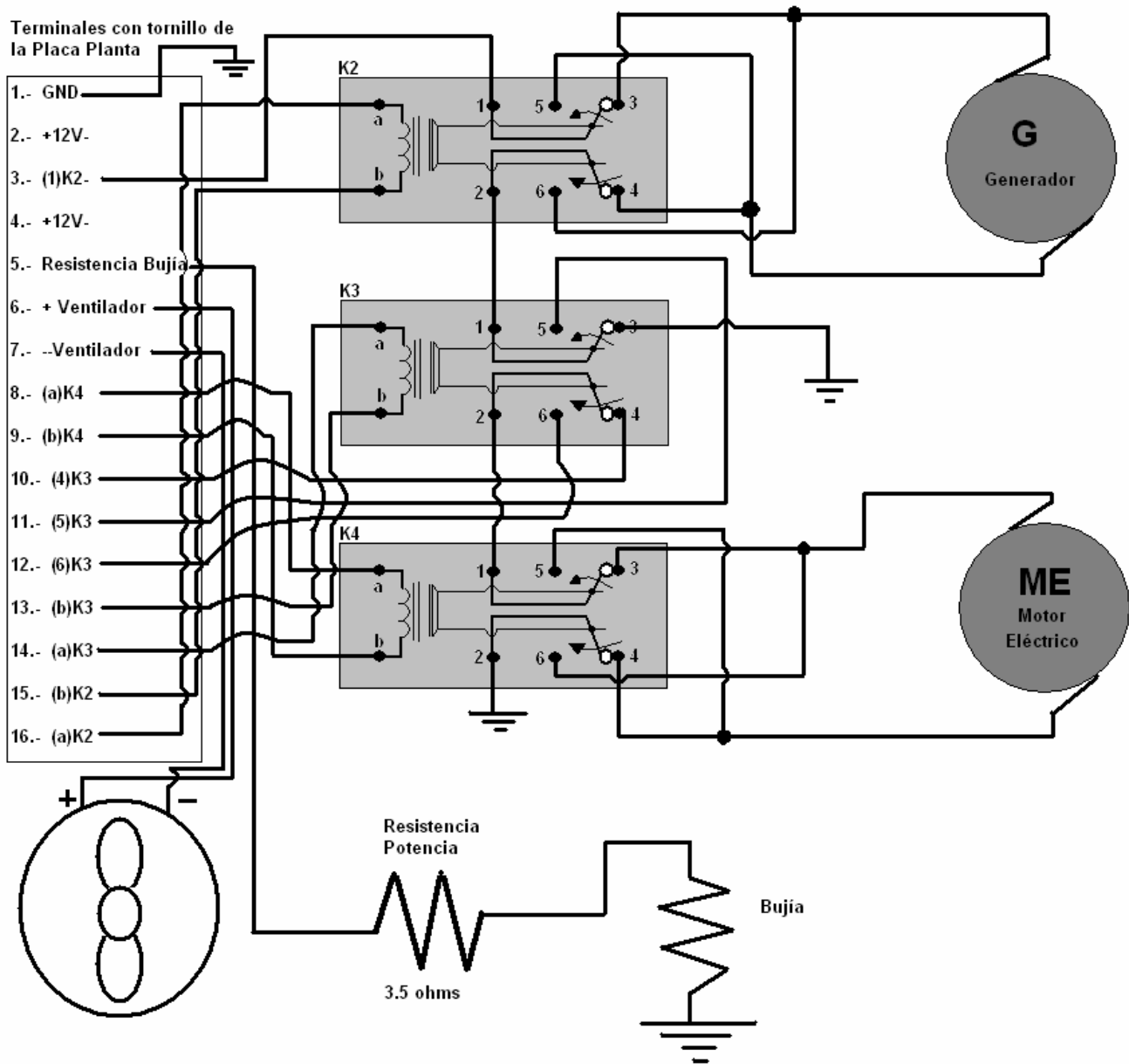


Fig. 3-14 Diagrama de conexiones en la "Placa Planta"

El conector para cable plano de la *Placa Planta* tiene descrito el funcionamiento de cada pin en la tabla 3-2. La intención de separar la parte de potencia del sistema híbrido y la recolección de señales en la llamada *Placa Planta* con el sistema de Control, tiene el objetivo de poder emplear los PIC's o cualquier otro microcontrolador e incluso emplear una computadora sin necesitar más acciones que desconectar el cable plano y reconectarlo donde se necesite. La numeración en el conector para cable plano indica que el pin número 1 se encuentra donde está la marca triangular en la carcasa de plástico. Los demás pines se contarán a partir del primero en orden de zig-zag.

Número de Pin	Nombre ilustrativo	Descripción*
1	Acelerador	Voltaje analógico de salida de 0 a 5 volts de potenciómetro
2	Opto Motor Eléctrico	Señal Digital de salida TTL
3	Generador	Voltaje analógico de salida de 0 a 5 volts de potenciómetro
4	Señal Servo	Señal Digital de entrada TTL
5	Frenada Regenerativa (Conmutador Motor Eléctrico a Generador)	Señal Digital de entrada TTL
6	Opto Motor Térmico	Señal Digital de salida TTL
7	Botón Rojo	Señal Digital de salida TTL, normalmente a 5 volts
8	Opto Generador	Señal Digital de salida TTL
9	Cambio de polaridad del Motor Eléctrico	Señal Digital de entrada TTL
10	Modulador de ancho de pulso (PWM) del Motor eléctrico	Señal Digital de entrada TTL
11	Modulador de ancho de pulso (PWM) del Generador	Señal Digital de entrada TTL
12	Sin conexión	-----
13	Cambio de polaridad del generador	Señal Digital de entrada TTL
14	Conmutador Generador a Motor Eléctrico	Señal Digital de entrada TTL
15	Bujía	Señal Digital de entrada TTL
16	Ventilador	Señal Digital de entrada TTL
17	Tierra (GND)	Voltaje referencia de cero volts
18	Tierra (GND)	Voltaje referencia de cero volts
19	Señal de la batería	Voltaje analógico de salida de 0 a 12 volts
20	Sin conexión	-----

Tabla 3-2 Descripción de pines del cable plano.

*El sentido de entrada o salida en la columna *Descripción* es desde el punto de vista de la *Placa Planta* como un sistema cerrado, si es salida, lo suministra la *Placa*, si es entrada, hay que suministrarlo a la *Placa*.

3.3 DISEÑO DEL FIRMWARE DE LOS MICROCONTROLADORES

Los microcontroladores necesitan un programa que les indique la forma en que trabajarán cada una de sus terminales según las necesidades específicas del proyecto dentro del que se desarrollarán. El código de estos programas está escrito en lenguaje Ensamblador por medio del software de libre distribución MPLAB. A continuación se detalla el programa empleado para el microcontrolador maestro y para el microcontrolador esclavo que se emplea en el Prototipo Didáctico.

3.3.1 PROGRAMA PARA EL MICROCONTROLADOR MAESTRO

El programa que se descargó al microcontrolador maestro (PIC16F874) a través del software "PIC_Downloader" comentado más adelante, puede contener las rutinas de algunos de los distintos diseños para diversos tipos de sistemas híbridos conocidos, como por ejemplo el Híbrido Serie o el Híbrido Paralelo o cualquier otra secuencia de funcionamiento imaginada o requerida. La interfaz visual para éste propósito consiste en el despliegue de información a través de un Display de Cristal Líquido instalado junto a los controles en la parte frontal del *Prototipo Didáctico* como se muestra en la figura 3-15 y operado por el microcontrolador maestro (PIC16F874).

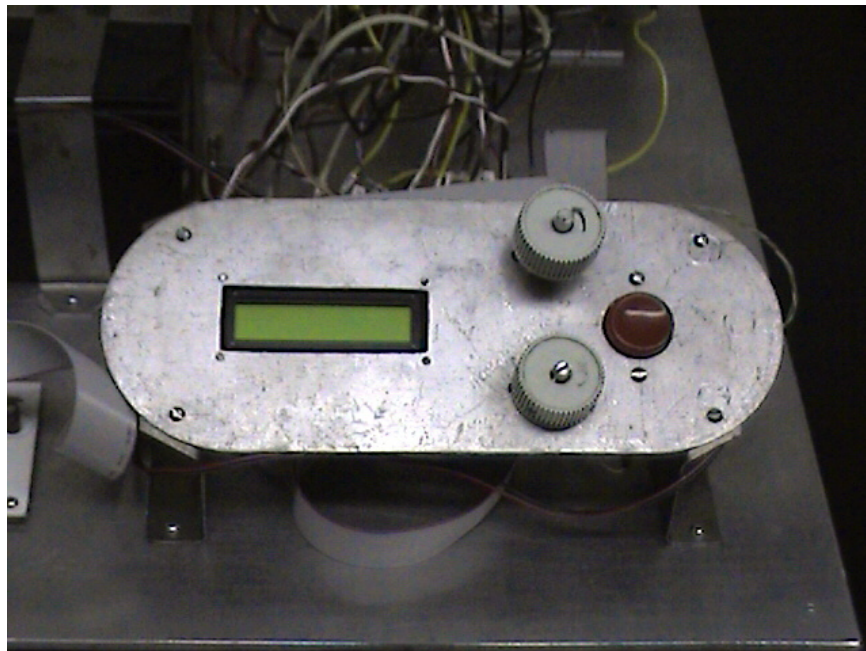


Fig. 3-15 Controles básicos y display de cristal líquido para el Modelo Didáctico del Sistema Híbrido Automotor denominado Tablero de Control.

La estructura principal para éste programa consiste en esperar del usuario la decisión inicial sobre el modo de funcionamiento en el cual operará el Modelo Didáctico del Sistema Híbrido siguiendo el diagrama de flujo de la figura 3-17. Para esto contará con tres botones que se encuentran sobre la placa del circuito impreso que contiene los microcontroladores. El primer botón, llamado "Bajar Menú" permite al usuario explorar los modos de funcionamiento que tiene programado el microcontrolador. Al pulsar sobre éste se baja sobre la rama que dice "no" de los rombos de toma de decisión del diagrama de flujo de la figura 3-17 indicando a través del display dichos modos de funcionamiento posible. Una vez que el usuario encuentra el Modo de funcionamiento deseado, debe pulsar el botón denominado "Aceptar" y entonces el display indicará "Operando" y el microcontrolador realizará las operaciones que le hayan sido asignadas para ése modo de funcionamiento escogido siguiendo la rama del rombo de toma de decisión que dice "si" en el diagrama de flujo de la figura 3-17.

El bloque del código ensamblador capturado en el software "MPLAB" encargado de la operación del primer menú arriba descrito se muestra en la Figura 3-16 con comentarios al final de algunas líneas para comprender el desarrollo del programa.

```

;---INICIA MENU-----
Manual
    call        Retardo_400ms    ;retardo para estabilizar la señal del botón "Bajar Menú"
    call        LCD_Borra        ;borra el mensaje que haya tenido el display previamente
    movlw      Mensaje2          ;Indica display el mensaje "Manual"
    call        LCD_Mensaje
    btfss      BotonBajaMenu     ;¿Se ha presionado el botón "Bajar Menú"?
    goto       Serie            ;Si: Despliega el siguiente modo de funcionamiento
    btfss      BotonAceptar      ;No: ¿Se ha presionado el botón "Aceptar"?
    goto       ModoMANUAL-3      ;Si: Comienza la subrutina de modo manual
    goto       Manual+4          ;No: verifica el estado de los botones nuevamente

Serie
    call        Retardo_400ms
    call        LCD_Borra
    movlw      Mensaje3
    call        LCD_Mensaje
    btfss      BotonBajaMenu
    goto       Paralelo
    btfss      BotonAceptar
    goto       ModoSERIE-3
    goto       Serie+4

Paralelo
    call        Retardo_400ms
    call        LCD_Borra
    movlw      Mensaje4
    call        LCD_Mensaje
    btfss      BotonBajaMenu
    goto       Manual
    btfss      BotonAceptar
    goto       ModoPARALELO-3
    goto       Paralelo+4

;---FIN MENU-----

```

Fig. 3-16 Bloque de código ensamblador para mostrar el Menú inicial al usuario.

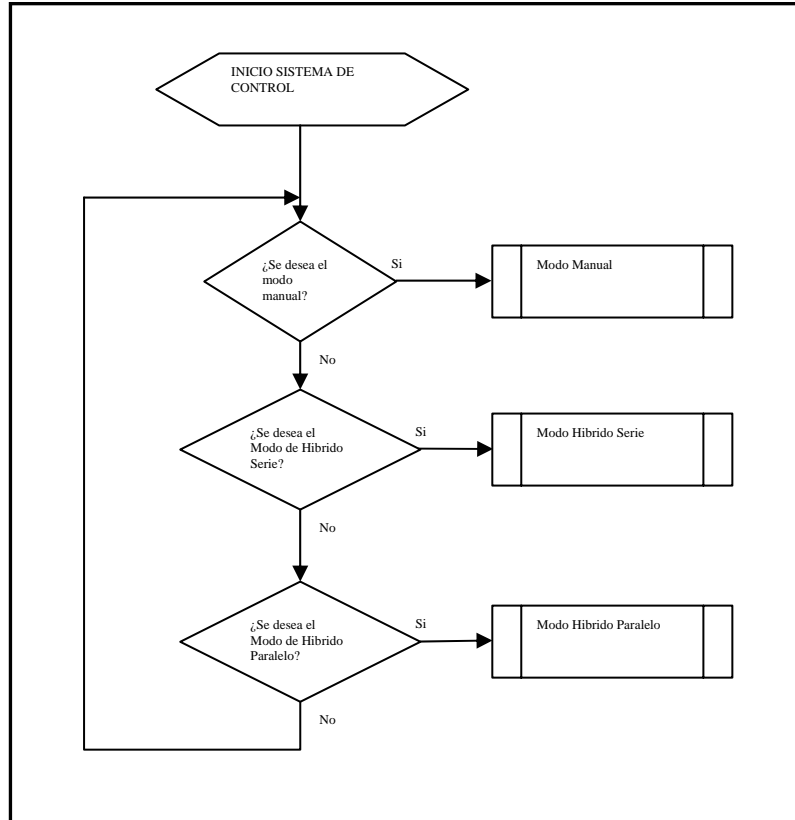


Fig. 3-17 Diagrama de Flujo de primer entrada al Modelo Didáctico de Sistema Híbrido, muestra el menú inicial.

3.3.2 REPERTORIO DE INSTRUCCIONES PARA CONTROL DEL SISTEMA

Dentro del código del programa dedicado al control del sistema híbrido y que será grabado en el microcontrolador maestro, se han diseñado ocho subrutinas básicas que ensambladas adecuadamente pueden generar distintos modos de funcionamiento. Éstas se describen a continuación en la tabla 3-3. Los datos de entrada y los resultados de salida se refieren al valor del Byte de 8 bits y a su nombre correspondiente dentro del programa del microcontrolador.

DATO DE ENTRADA	INSTRUCCIÓN (CÓDIGO ENSAMBLADOR)	DATO DE SALIDA	ACCIÓN EFECTUADA
AnguloServo	call EnviaAnguloServo	Manda el ángulo por comunicación serial.	Posiciona el ángulo del servomotor según el valor del registro "AnguloServo"
Valor analógico de voltaje	Call MedicionPotAcelerador	Guardado en <i>ADRESH</i>	Mide la posición angular del vástago del potenciómetro denominado "Acelerador" que se identifica por tener un resorte helicoidal en su eje.
Valor analógico de voltaje	call MedicionPotGenerador	Guardado en <i>ADRESH</i>	Mide la posición angular del vástago del potenciómetro denominado "Generador"

DATO DE ENTRADA	INSTRUCCIÓN (CÓDIGO ENSAMBLADOR)	DATO DE SALIDA	ACCIÓN EFECTUADA
Valor analógico de voltaje	call MedicionCargaBateria	Guardado en <i>ADRESH</i>	Mide la carga de la batería.
Señal del Sensor óptico	call CuentaEncodMT	Guardado en <i>Contador</i>	Mide la velocidad de la flecha del Motor Térmico al contar los pulsos leídos del encoder correspondiente durante un intervalo fijo de tiempo.
Señal del Sensor óptico	call CuentaEncodG	Guardado en <i>Contador</i>	Mide la velocidad de la flecha del Generador al contar los pulsos leídos del encoder correspondiente durante un intervalo fijo de tiempo.
Señal del Sensor óptico	call CuentaEncodME	Guardado en <i>Contador</i>	Mide la velocidad de la flecha del Motor Eléctrico al contar los pulsos leídos del encoder correspondiente durante un intervalo fijo de tiempo.
(Depende del modo de funcionamiento)	call ArrancaMT	Activa las señales relativas al funcionamiento del Motor Térmico	Comienza una subrutina para el proceso de arranque del Motor Térmico

Tabla 3-3 Principales instrucciones del Programa Ensamblador del microcontrolador maestro PIC16F874.

3.3.3 MODO MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

El primer modo de funcionamiento mostrado en el menú inicial que observa el usuario a través del display es el modo de funcionamiento manual. En este modo, el usuario puede controlar el momento de arranque del Motor Térmico, la velocidad del Motor Eléctrico y la apertura de su carburador con los dispositivos del llamado tablero de control. El control de la apertura del servomotor es a través del potenciómetro inferior en el tablero de control, de modo que la posición angular del vástago del potenciómetro es proporcional a la posición angular del servomotor acoplado al carburador del Motor Térmico excepto cuando éste último está en el proceso de encendido porque tiene preestablecido un ángulo de apertura para arranque. La solicitud de arranque del motor térmico por parte del usuario se hace al oprimir el Botón Rojo del tablero de control. Con ésta señal, el microcontrolador maestro envía la indicación de arranque del Motor Térmico al microcontrolador esclavo. Por otro lado, para apagar el motor térmico basta con cerrar por completo la válvula de estrangulación del carburador a través del potenciómetro que controla el Servomotor al girarlo a la posición mínima. La velocidad del Motor eléctrico, por otra parte, se regula con el potenciómetro superior del tablero de control en forma similar a como se hace para controlar el ángulo del Servomotor. Para llevar a cabo las actividades antes descritas de forma relativamente simultánea se propone un programa cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 3-18.

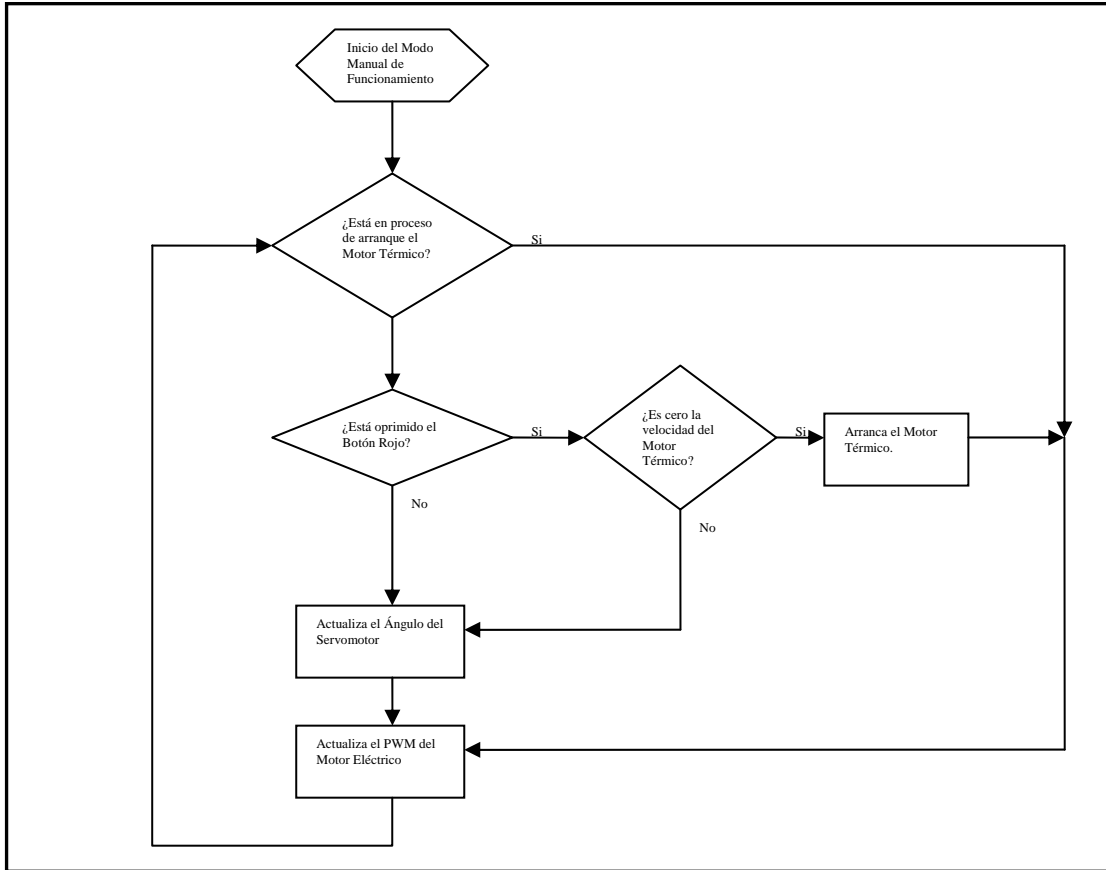


Fig. 3-18 Diagrama de Flujo del Modo Manual de funcionamiento.

Inicialmente dentro de ésta subrutina el microcontrolador maestro cuestiona al microcontrolador esclavo revisando la señal correspondiente si está en proceso de arranque del Motor Térmico al probar el nivel de voltaje lógico del pin RA0 de éste último denominado "Conclusión de arranque". Un nivel alto de 5 volts indica que se está en proceso de arranque de dicho Motor Térmico y un nivel bajo de cero volts lo contrario. Si se está en proceso de arranque del Motor Térmico el microcontrolador maestro se dedica básicamente a actualizar el valor del PWM del motor eléctrico según lo solicite el usuario al girar el vástago del potenciómetro correspondiente y a esperar los cero volts de indicación de fin de proceso del pin "Conclusión de arranque" antes mencionado.

En el caso de no estar en el proceso de arranque del motor térmico, el microcontrolador maestro se dedica a actualizar el ángulo del servomotor y el nivel del PWM del motor eléctrico según lo solicite el usuario, así como verificar el estado del Botón Rojo para que en caso de estar oprimido, iniciar el proceso de arranque del motor térmico verificando antes que la flecha mecánica de éste se encuentre en reposo, infiriendo por esto que está apagado y evitar el error de solicitar el arranque de un motor térmico ya encendido.

con diodos que permiten el flujo de corriente únicamente hacia la batería, de modo que cuando la flecha del motor eléctrico gire por acción de la energía cinética del vehículo y éste genere un voltaje mayor al que en ese momento tengan las baterías se polarizarán los diodos y una corriente eléctrica hacia la batería le introducirá la energía cinética transformada. El efecto físico observado debido a la transformación de energía es que el vehículo bajará su velocidad al cambiar energía cinética a energía química almacenada en la batería. Esto aumenta la eficiencia energética del vehículo y alarga la vida del sistema mecánico de frenado. Si embargo, la frenada regenerativa no sustituye al sistema convencional de frenado pues no lleva al vehículo a velocidad cero en los periodos críticos de frenado debido a contingencias en el camino del vehículo. La Figura 3-20 muestra el diagrama eléctrico para activar la frenada regenerativa en el Prototipo.

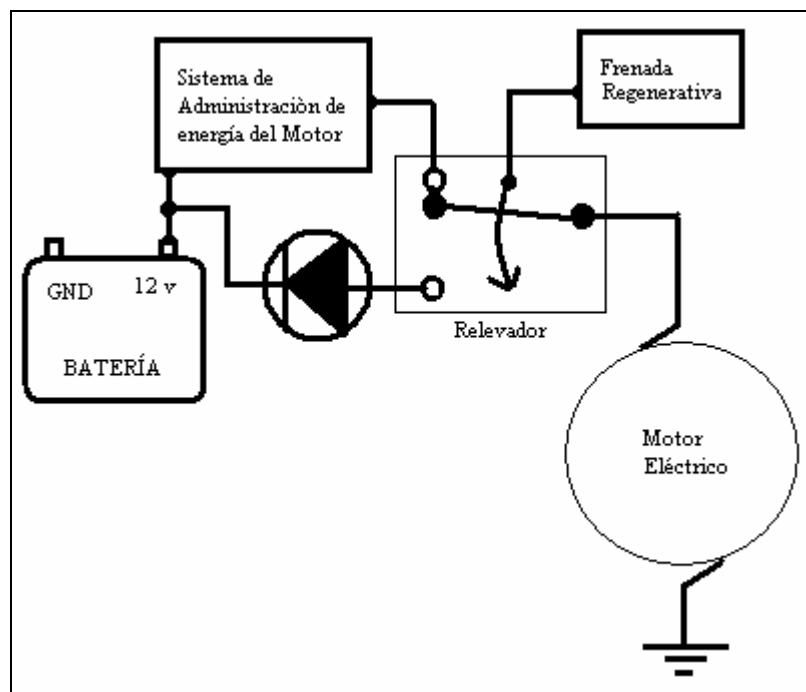


Fig. 3-20 Diagrama de conexión eléctrica para la Frenada Regenerativa.

Con lo anterior tenemos las características suficientes con las que desarrollaremos el diagrama de flujo del funcionamiento del modo Serie de nuestro prototipo mostrado en la Figura 3-21. El encendido y apagado del Motor Térmico estará en función de la carga de la batería siguiendo la lógica de llenado de los tinacos caseros de agua. Por lo tanto la carga de la batería deberá fluctuar entre un nivel máximo y un nivel mínimo. Entonces cuando la batería se descargue hasta su nivel mínimo, el motor térmico deberá encenderse para cargar la batería por medio del generador eléctrico hasta alcanzar su nivel máximo, momento en el cual deberá apagarse dicho motor térmico. El sistema de control monitoreará constantemente la carga de la batería y tendrá preestablecidos los niveles máximos y mínimos de carga, a la vez que revisará el estado del potenciómetro "Acelerador" y comparará el resultado con la

medición de la velocidad de la flecha del motor eléctrico para aplicar un sistema de control proporcional ajustando la señal PWM del motor eléctrico según se requiera.

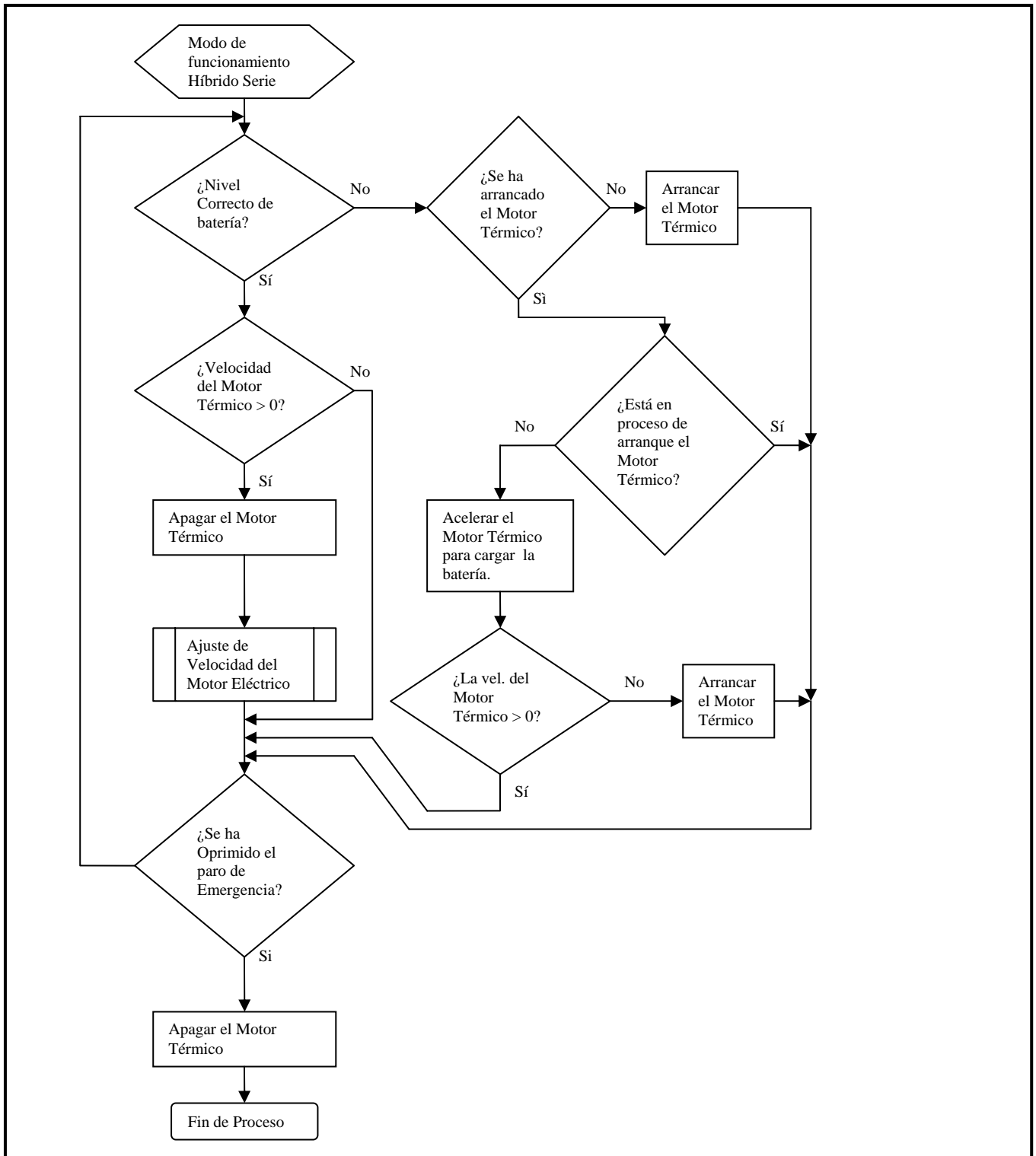


Fig. 3-21 Diagrama de Flujo Modo Serie.

En este Modo de Funcionamiento, el sistema de control principal monitorea y controla la velocidad del motor eléctrico según la demanda del usuario, a la vez que determina si debe de encender o apagar el Motor Térmico en función de la carga de la batería. Los niveles mínimos y máximos de carga de la batería se establecen por software y están limitados para fines demostrativos entre 12 y 13 volts respectivamente. Cuando el sistema Híbrido se encuentra con el Motor Térmico encendido cargando la batería, el sistema de control principal se encarga de monitorear el funcionamiento del motor térmico y que éste no se apague durante éste intervalo, si esto ocurriera, el sistema de control volverá a el proceso de arranque del motor térmico. Durante cada ciclo del diagrama, el programa revisará si se ha oprimido el botón Rojo, si esto es verdadero lo interpretará como una solicitud de paro de emergencia con el acto consecuente de apagar el Motor Térmico si éste se encontrara funcionando y pasar a un estado de inactividad que puede ser superado sólo si se reinicia el sistema de control al oprimir el botón de reset.

Dentro de éste modo de funcionamiento se puede observar el Subproceso llamado “Ajuste de Velocidad del Motor Eléctrico” el cual consiste en mantener la velocidad del motor eléctrico proporcional al ángulo que presente el potenciómetro llamado “acelerador” y que puede ser ajustado en cualquiera de su posición de trabajo según requiera el usuario. En éste punto, el sistema de control principal se preguntará si la velocidad angular medida en la flecha del motor eléctrico es mayor o menor a la requerida por el usuario dependiendo del valor digital que se obtenga del voltaje del potenciómetro por la comparación de éstas dos señales. Si la velocidad está por debajo de la requerida, el sistema de control alargará el ancho de pulso del PWM por medio del registro CCPR2L con la intención de aumentar la potencia suministrada al motor eléctrico y así éste aumente su velocidad. Por el contrario, si la velocidad del motor eléctrico está por arriba de la solicitada por el usuario, el sistema de control disminuirá el ancho de pulso de la señal de potencia suministrada para que el motor eléctrico reduzca su velocidad; sin embargo, si esto no es suficiente para desacelerar el motor eléctrico como en los casos de descenso de los vehículos por las colinas, se aplica la frenada regenerativa, la cual activa al motor eléctrico en su modalidad de generador eléctrico aprovechando la energía cinética del vehículo para generar electricidad y cargar la batería y así aprovechar parte de la energía que de otro modo, se derrocharía en el sistema convencional de frenado por fricción. Su diagrama de flujo lo podemos observar en la Figura 3-22.

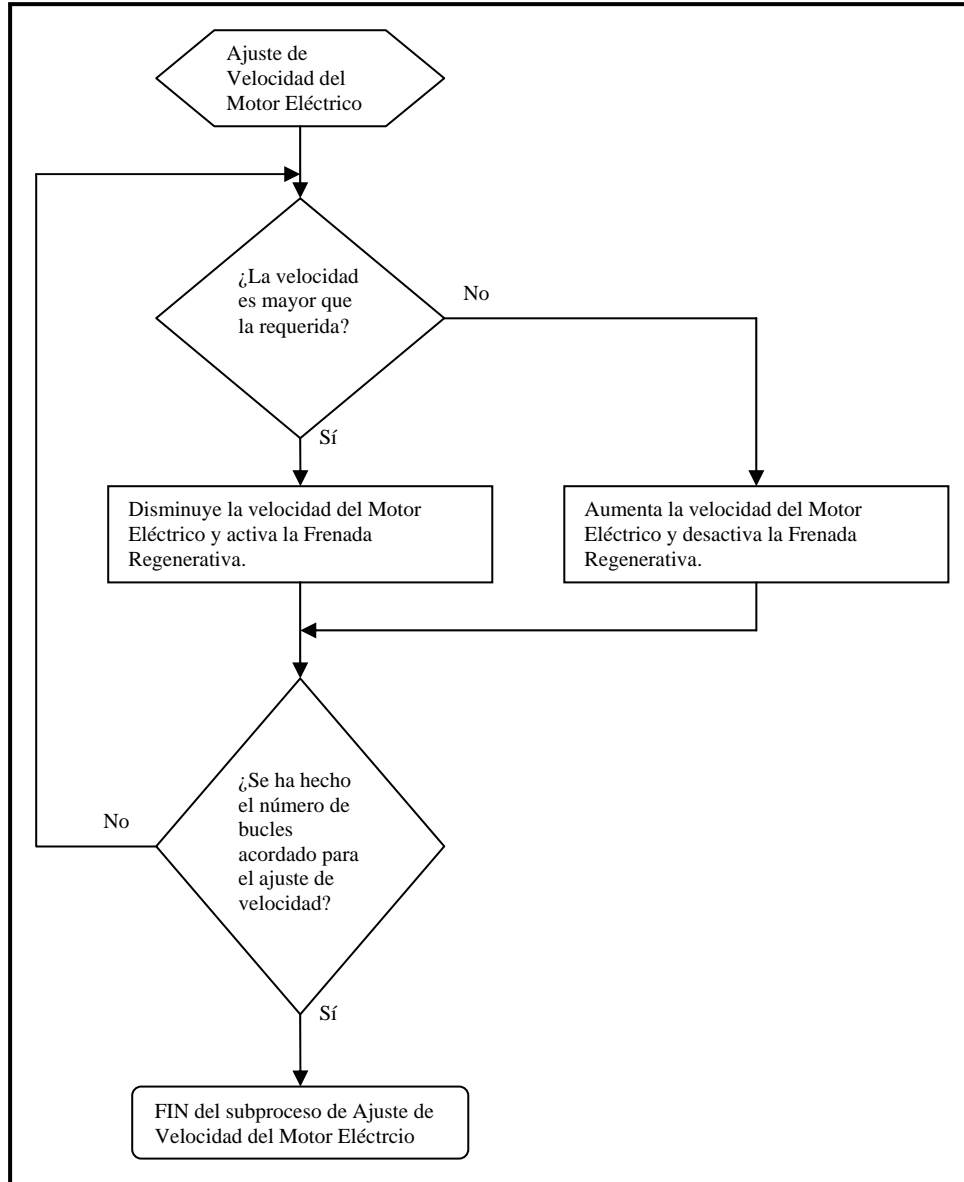


Fig. 3-22 Diagrama de Flujo del Subproceso de Ajuste de Velocidad del motor eléctrico.

Siguiendo el diagrama de flujo de la Figura 3-22 como apoyo principal y haciendo los ajustes necesarios para llevarlo a cabo, obtenemos el código del programa en lenguaje ensamblador como se muestra a continuación en la Figura 3-23.


```

AumentaVelME
    incfsz  CCPR2L,f
    goto   CriterioFRdesactiva
    decf   CCPR2L,f
CriterioFRdesactiva
    movlw  NivelFR
    movwf  RetardoFR
    bcf    ConmutacionME_G ;desactiva la FR
    goto   DisminuyeBucleAjusteVelocidad

SuperaFriccion
    movlw  NivelDeArranqueME
    movwf  CCPR2L
    bcf    MEestatico
DisminuyeBucleAjusteVelocidad
    decfsz BucleAjusteVelocidad,f
    goto   AjusteVelocidadME+2 ;NO, el registro aún no vale cero
        ;SI, el registro vale cero

ParoDeEmergencia?
    btfsz  BotonRojo ;revisa si se solicita par de emergencia o fin de programa
    goto   NivelCorrectoBateria? ;NO, no se solicita paro
    clrf   AnguloServo ;SI, apaga el motor tèrmico
    call   EnviaAnguloServo
    bcf    FgMTprendido
    call   Retardo_400ms
    goto   Inicio ;Pasa a un modo inactivo tras apagar el MT

SeHaArrancadoElMT?
    btfsz  FgMTprendido
    goto   ArrancarElMT ;NO se ha arrancado el MT
EstaEnProcesoDeArranque? ;SI se ha arrancado el MT
    btfsz  ConclusionArranque
    goto   AjusteVelocidadME ;SI, todavìa en proceso
MaxAnguloServo ;NO, ya terminò el proceso de arranque
    movlw  d'245' ;angulo màximo para trabajar el motor tèrmico.
    movwf  AnguloServo
    call   EnviaAnguloServo
VelocidadMTmayorCeroaun? ;revisa si està girando el eje del MT
    call   CuentaEncodMT
    incf   Contador,f
    decf   Contador,f
    btfsz  STATUS,Z
    goto   AjusteVelocidadME ;SI, eje MT girando
ArrancarElMT;NO, eje MT parado
    call   ArrancaMT
    movlw  CargaMaximaBateria
    movwf  NCB
    goto   AjusteVelocidadME
;-----Fin del Modo Serie-----

```

Fig. 3-23 Código en lenguaje ensamblador para el Modo de Funcionamiento Híbrido Serie.

3.3.5 PROGRAMA PARA EL MICROCONTROLADOR ESCLAVO

El programa descargado al microcontrolador esclavo, el PIC16F84A, tiene dos propósitos básicos, el primero consiste en realizar el proceso de arranque del motor térmico, y el segundo, generar la señal PWM del servomotor.

La señal PWM del servomotor es de 100 [hz], y no podemos emplear el PWM del microcontrolador maestro porque la mínima frecuencia que maneja éste es de 1.22 [Khz.], la

cual es demasiado “rápida” para el servomotor y si se le aplica, sólo lo hará vibrar sin ubicar su eje en la posición deseada. Para evitar éste inconveniente, se diseña un programa para el microcontrolador esclavo que genere la señal del servomotor en la frecuencia adecuada. La sección de código ensamblador que se encarga de esto, se muestra en la figura 3-24.

```

RutinaPWM
    bsf     SenalServo      ;Pone en alto el pin de señal del Servomotor
    call   Retardo_200micros ;comienza el ciclo de trabajo
    call   Retardo_50micros
    call   Retardo_20micros
    call   Retardo_20micros
;-----
    call   Retardo_200micros
    call   Retardo_50micros
    call   Retardo_20micros
    call   Retardo_10micros
    nop
    nop
;-----
    nop
    nop
    movf   Angulo,W         ;por cada incremento retarda 3us. más
    movwf  Angulo_Temp

PosicionaAngulo
    incf   Angulo_Temp,F    ;Previene el valor inicial de 0°
    decfsz Angulo_Temp,F
    goto   PosicionaAngulo+1 ;Agrega el tiempo para el ciclo de trabajo según sea el ángulo.
    bcf    SenalServo      ;Termina Ciclo de trabajo, pone a cero el pin del servo
    call   Retardo_10ms    ;SemiCiclo muerto PWM
    call   Retardo_2ms
    btfss  FgArranque      ;pregunta si está en proceso de arranque del Motor Térmico
    goto   RutinaPWM      ;Comienza otro ciclo estando fuera del proceso de arranque del MT.
    decfsz PreajusteServo,f ;En caso de estar en proceso de arranque del MT, dedica 255 ciclos
    goto   RutinaPWM      ;para colocar el servo en la posición adecuada.
    bcf    FgArranque      ;Ya se ha posicionado el servo en el ángulo de arranque.
    return                ;continúa con el proceso de arranque del Motor Térmico (MT)

```

Fig. 3-24 Sección de código para el PWM del servomotor.

Para introducir el valor del ángulo deseado desde el microcontrolador maestro PIC16F874, el microcontrolador esclavo tiene activada la interrupción por cambio de estado en los pines del puerto B. Entonces, el microcontrolador maestro espera a que el pin de la señal del servo esté a cero para mandar, si es que lo necesita, el ángulo que desea en el servomotor, siguiendo el cronograma de la figura 3-7 antes descrito, esto debido a que el microcontrolador esclavo no se debe interrumpir cuando esté en alto el ciclo de la señal del servomotor para evitar mover involuntariamente el ángulo de éste por cuestiones de comunicación. Por otro lado, el microcontrolador esclavo detecta el momento en que cambia de estado el pin por donde se transmite la información y entra el programa en una subrutina de recepción de datos como se muestra en la figura 3-25.

```

RecibeDato
  movwf  Guarda_W          ; Guarda los valores de tenían W y STATUS en el
  swapf  STATUS,W         ; programa principal.
  movwf  Guarda_STATUS
  bcf    STATUS,RP0       ; Garantiza que trabaja en el Banco 0.

  nop
  nop    ;para ajustar tiempo de lectura de start-bit de 10us
  btfss  SerialData      ;
  goto   ArrancaMT       ;si solo recibí pulso, se activa el motor térmico.
;---
;      bsf    ConmutacionG_ME ;indica entrada a envio de angulo
;---

  movlw  d'8'
  movwf  ContadorBits    ;palabra de 8 bits
  call   Retardo_5micros

LeeBit
  bcf    STATUS,C        ;Supone en principio cero
  btfsc  SerialData      ;revisa el dato recibido
  bsf    STATUS,C        ;No, pues cambia a uno
  rrf    Angulo,F        ;Introduce el bit en el registro de lectura.
  nop
  nop
  decfsz ContadorBits,F
  goto   LeeBit
  goto   FinTransmision

ArrancaMT
  bsf    ConclusionArranque ;Indica que ha empezado el proceso de arranque del motor
  térmico.
  call   Retardo_50micros
  call   Retardo_20micros
  call   Retardo_20micros ;tiempo mínimo que debe estar en alto el bus de datos serial para
  indicar que se debe encender el MT
  btfss  SerialData      ;Confirma petición arranque del motor térmico
  goto   FinTransmision ;Falsa alarma

;---
;      bsf    Ventilador ;Indica que ha entrado al arranque del MT
;      goto   FinTransmision
;---

  clrf   PreajusteServo ;define el tiempo en que el servo se posicionará en el angulo de
  arranque.El valor de cero representa el tiempo máximo
  bsf    FgArranque
  movlw  AnguloArranqueServo
  movwf  Angulo
  call   RutinaPWM

  bsf    Bujia ;Enciende la bujía
  call   Retardo_500ms ;La precalienta
  bsf    ConmutacionG_ME ;Se arranca el motor térmico con el generador como motor
  call   Retardo_2s ;se espera que en cuatro segundos máximo arranque el motor térmico
  call   Retardo_2s
  bcf    ConmutacionG_ME ;como ya encendió, se regresa a su modo de generador
  bsf    Ventilador ;Se prende el ventilador para remover el calor del Motor térmico
  call   Retardo_20s
  bcf    Bujia ;Se espera que el motor continúe encendido cuando se apague la bujía.

```



```
        call    Retardo_2s      ;Tiempo para estabilizar el motor térmico.
FinTransmision
        movlw   d'4'
        subwf  Angulo,w
        btfss  STATUS,C
        bcf    Ventilador ;como se solicita apagar MT, se apaga el ventilador
;---
;        bsf    Bujia
;---
        swapf  Guarda_STATUS,W ;Restaura registros W y STATUS.
        movwf  STATUS
        swapf  Guarda_W,F
        swapf  Guarda_W,W
        bcf    INTCON,RBIF
        bcf    ConclusionArranque ;Indica que ha concluido el proceso de arranque del motor
tèrmico.

        retfie
;-----
```

Fig. 3-25 Sección de código del microcontrolador esclavo encargada de recibir el dato del ángulo y la señal de arranque del Motor Térmico.

Dentro de ésta subrutina, el microcontrolador discrimina entre la recepción de un nuevo dato para el ángulo del servomotor ó la solicitud de arranque del Motor Térmico. Cuando recibe el dato de un ángulo nuevo, regresa a la rutina del PWM del servomotor al concluir la transmisión, pero si se trata de una solicitud de arranque del Motor Térmico, el programa sigue el diagrama de flujo mostrado en la figura 3-26. Cuando termina el proceso de arranque del Motor Térmico, el programa regresa a la subrutina del PWM del servomotor en la línea de código donde fue interrumpido al iniciar la comunicación con el microcontrolador maestro.

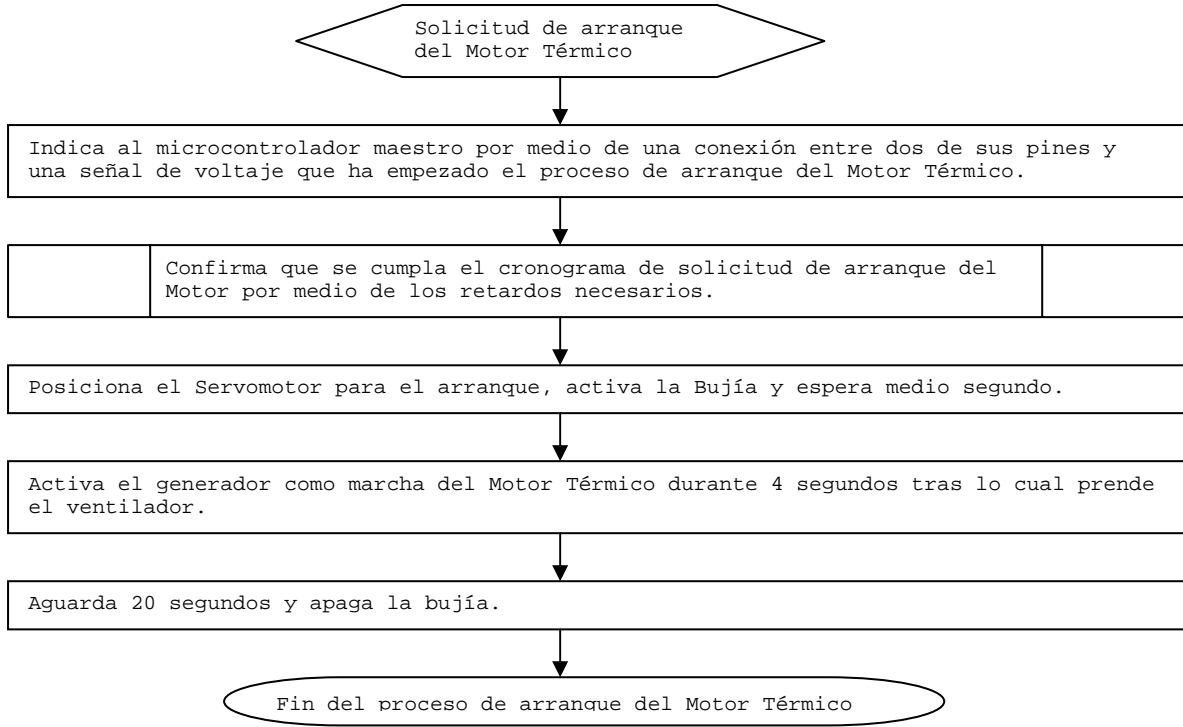


Fig. 3-26 Diagrama de Flujo para el arranque del Motor Térmico.

El bloque de código mostrado a continuación en la Figura 3-27 contiene las líneas programadas que llevará el microcontrolador esclavo y que realizará en el momento en que el microcontrolador maestro solicite comunicación por medio de un cambio de estado en la línea "Seria Data". Por consiguiente, el bloque de código ensamblador que sigue los pasos mostrados en el diagrama de flujo de la figura 3-26 es como se muestra a continuación a partir de la etiqueta que dice *ArrancaMT*, antes de ésta, el código corresponde a la transferencia del dato del ángulo del servomotor.

```

CBLOCK
Guarda_W
Guarda_STATUS
ContadorBits
ENDC
RecibeDato
movwf  Guarda_W           ; Guarda los valores de tenían W y STATUS en el
swapf  STATUS,W          ; programa principal.
movwf  Guarda_STATUS
bcf    STATUS,RP0        ; Garantiza que trabaja en el Banco 0.
nop
nop    ;para ajustar tiempo de lectura de start-bit de 10us
btfss  SerialData       ;
goto   ArrancaMT        ;si solo recibió pulso, se activa el motor térmico.
movlw  d'8'
movwf  ContadorBits     ;palabra de 8 bits
call   Retardo_5micros

LeeBit
bcf    STATUS,C          ;Supone en principio cero
btfsc  SerialData       ;revisa el dato recibido
bsf    STATUS,C          ;No, pues cambia a uno
rrf    Angulo,F          ;Introduce el bit en el registro de lectura.
nop
nop
decfsz ContadorBits,F
goto   LeeBit
goto   FinTransmision

ArrancaMT
bsf    ConclusionArranque ;Indica que ha empezado el proceso de arranque del MT
call   Retardo_50micros
call   Retardo_20micros
call   Retardo_20micros ;tiempo mínimo que debe estar en alto el bus de datos serial
;para indicar que se debe encender el MT
btfss  SerialData       ;Confirma petición arranque del motor térmico
goto   FinTransmision  ;Falsa alarma
clrf   PreajusteServo  ;define el tiempo en que el servo se posicionará en el angulo de
;arranque.El valor de cero representa el tiempo máximo

bsf    FgArranque
movlw  AnguloArranqueServo
movwf  Angulo
call   RutinaPWM
bsf    Bujia           ;Enciende la bujía
call   Retardo_500ms   ;La precalienta
bsf    ConmutacionG_ME ;Se arranca el motor térmico con el generador como motor
call   Retardo_2s      ;se espera que en cuatro segundos máximo arranque el motor
;térmico
call   Retardo_2s
bcf    ConmutacionG_ME ;como ya encendió, se regresa a su modo de generador
bsf    Ventilador      ;Se prende el ventilador para remover el calor del Motor térmico
call   Retardo_20s
bcf    Bujia           ;Se espera que el motor continúe encendido cuando se apague la bujía.
call   Retardo_2s      ;Tiempo para estabilizar el motor térmico.

FinTransmision
movlw  d'4'
subwf  Angulo,w
btfss  STATUS,C
bcf    Ventilador ;como se solicita apagar MT, se apaga el ventilador
swapf  Guarda_STATUS,W ;Restaura registros W y STATUS.
movwf  STATUS
swapf  Guarda_W,F
swapf  Guarda_W,W
bcf    INTCON,RBIF
bcf    ConclusionArranque ;Indica que ha concluido el proceso de arranque del motor
;térmico.
retfie ;Regresa a la subrutina habitual pues ha concluido la comunicación

```

Fig. 3-27 Bloque de código ensamblador que realiza las funciones programadas cuando el microcontrolador esclavo atiende la comunicación.

3.3.6 DESCARGA DE PROGRAMAS AL MICROCONTROLADOR MAESTRO.

El microcontrolador maestro debe tener grabado en su memoria el programa en lenguaje máquina que deseamos que ejecute. Para llevar esto a cabo empleamos el software llamado "PIC_Downloader", el cual por medio de un cable serial descrito más adelante, descarga por medio de la computadora el programa al microcontrolador. Dicho microcontrolador debe llevar grabado un programa previo llamado "32019 - bootldr-v26-16F873-74-20Mhz-19200bps" de libre distribución por Internet, el cual se descargará por medio de un programador universal al microcontrolador. Una vez hecho lo anterior, montamos el microcontrolador en la placa del circuito impreso, la energizamos y después conectamos el cable serial y estaremos listos para descargar los programas al microcontrolador maestro. Al activar en la computadora el programa "PIC_Downloader" tendremos una interfaz gráfica como se muestra en la Figura 3-28.

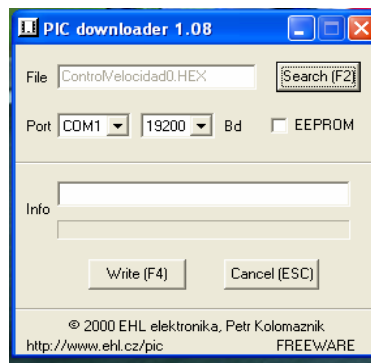


Fig. 3-28 Ventana desplegada al ejecutar el programa "PIC downloader"

Donde con el botón "Search (F2)" buscaremos la ubicación del programa que deseamos grabar al microcontrolador en nuestra PC. Una vez localizado, debemos verificar que la velocidad de transmisión esté en 19200 baudios como se muestra en la figura. A continuación damos click en "Write (F4)" y damos un pulso de reset en la tarjeta del microcontrolador y esperamos si todo sale bien, a que el cuadro de texto arriba del botón recién pulsado en el PIC_downloader indique que se ha concluido el proceso de escritura en el microcontrolador.

La forma más común y sencilla de comunicar cualquier dispositivo con una computadora es a través de su puerto serie, que es compatible con el denominado estándar RS232 (o EIA232 Standard). En un ordenador puede haber varios puertos serie, normalmente denominados COM 1, COM 2, etc.

El cable serial que empleamos utiliza un circuito integrado llamado "max232" el cual convierte la señal de voltaje TTL (cero y cinco volts) a nivel de protocolo RS232, es decir a +/- 12V y viceversa. Necesita cuatro condensadores externos de unos pocos microfaradios para generar el voltaje RS232 a partir de los 5 volts de alimentación. El diagrama del cable y las conexiones con el microcontrolador se muestran en la figura 3-29.

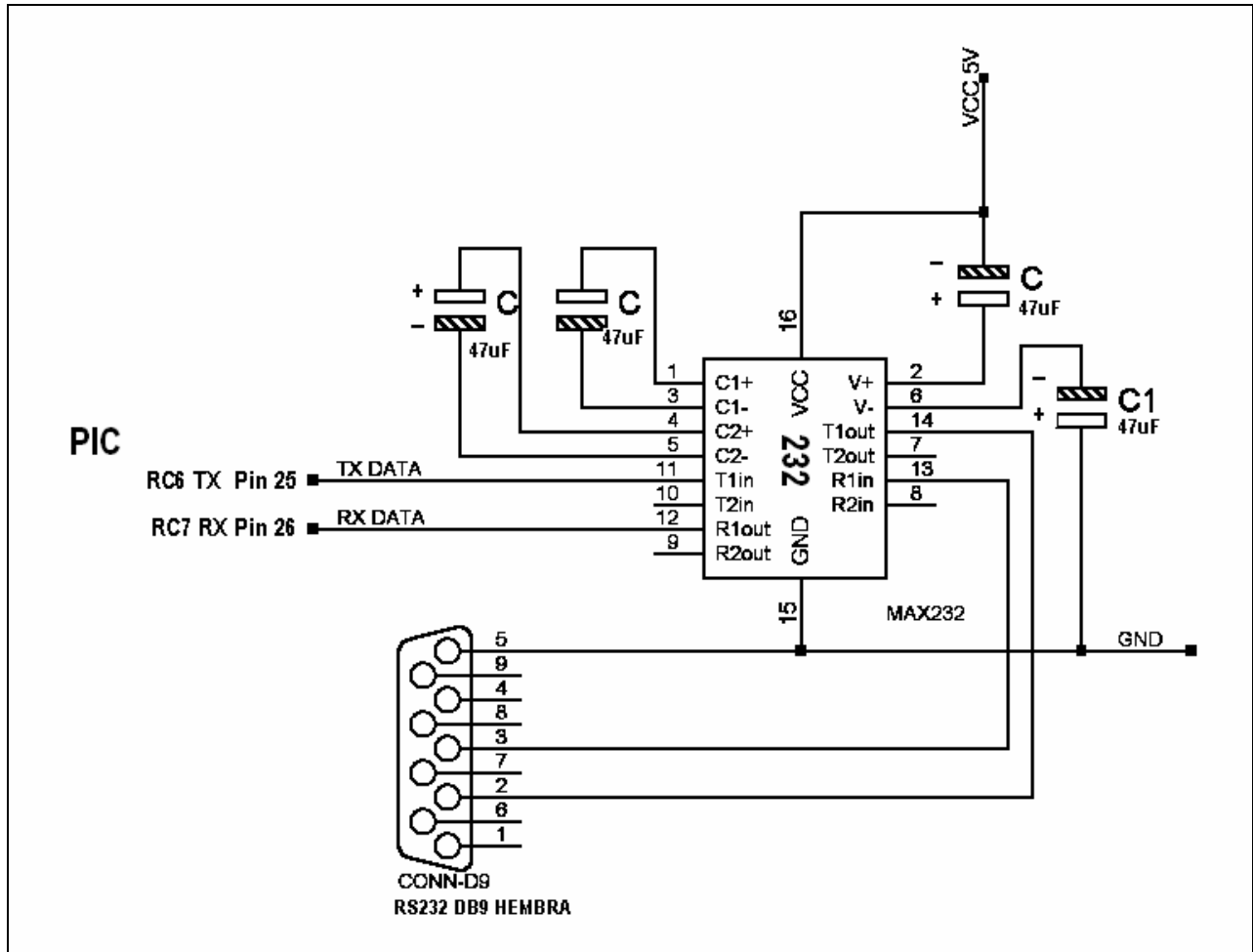


Fig. 3-29 Diagrama del cable de conexión entre el PIC maestro y la Computadora.

3.4 VISTA GENERAL DEL PROTOTIPO

A continuación se muestra una imagen general del Prototipo Didáctico obtenido durante el desarrollo de éste trabajo. Ver Figura 3-30.

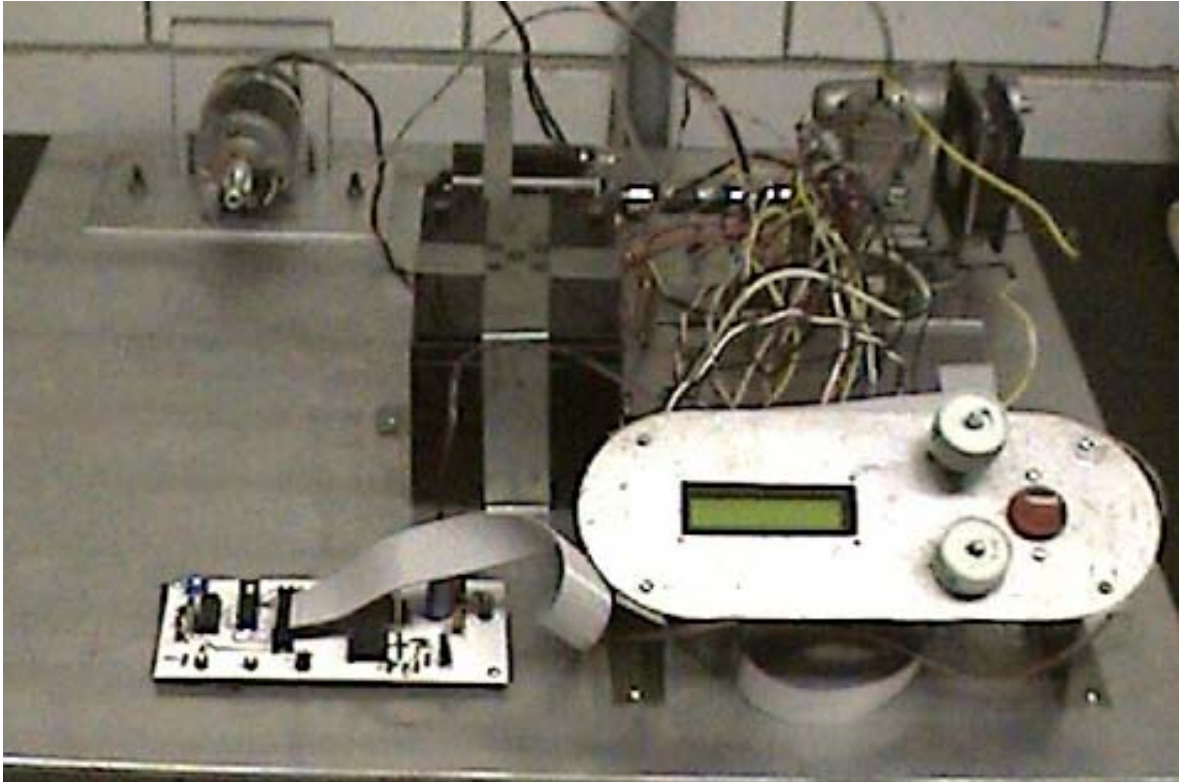


Fig. 3-30 Vista general del Prototipo Didáctico de un Sistema Híbrido Automotor.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el objetivo planteado al inicio de éste trabajo, y haciendo referencia a los resultados obtenidos durante el desarrollo de las diferentes partes que integran este proyecto, pueden exponerse las siguientes conclusiones.

Se cumplió con el objetivo de diseñar y construir un Dispositivo Didáctico, con un sistema de control sencillo, basado en un microcontrolador PIC, capaz de demostrar el modo de operación de un Sistema Híbrido Serie. Este dispositivo permitirá obtener información de los distintos parámetros a considerar para hacer un comparativo más amplio con un Sistema Híbrido Paralelo que ya se encuentra en desarrollo en otro trabajo de Tesis.

Se logró el diseño y la construcción del Dispositivo con las características de portabilidad ya que el conjunto se puede transportar con seguridad. Todos sus componentes se encuentran fijos y no existe el peligro de que alguno de ellos pueda caerse o desconectarse independientemente de la posición que tenga.

Las tarjetas electrónicas funcionan satisfactoriamente y no se encontraron cortos circuitos ni fugas de energía. Sin embargo, se reforzaron las pistas que conducen mayor corriente, estas son las que intervienen en los procesos de arranque del motor térmico al activar al generador como marcha y las de conexión de la bujía, soldando de forma paralela un cable conductor para aliviar la carga eléctrica a la que es sometida. Se observó la necesidad de colocar un diodo de seguridad para evitar los choques eléctricos por los trenes de pulso suministrados al motor eléctrico, dicho diodo es conectado del ánodo al colector del transistor de potencia y el cátodo a la referencia de cero volts.

Considero que se tiene un avance del 70% en cuanto al alcance del objetivo general del dispositivo, pues al momento de escribir éstas líneas el prototipo no ha logrado arrancar satisfactoriamente el motor térmico, sin embargo esto es un problema de origen mecánico, ya que el sistema de control responde adecuadamente observándose que desarrolla satisfactoriamente las etapas del programa diseñado para demostrar el modo de funcionamiento manual y modo Híbrido Serie. Para demostrar el modo Híbrido paralelo es necesario diseñar y acoplar un tren de engranes planetario como el del modelo comercial Prius.

Como un trabajo a futuro cabe mencionar que se está desarrollando un programa computacional a través de "LabView" con el cual se pretende sustituir el sistema de control basado en el microcontrolador PIC por el ordenador con dicho software. Con éste sistema hay muchas mejoras, entre ellas la capacidad de obtener y registrar más información para su

posterior análisis y obtener resultados altamente confiables, además de que mejora considerablemente la interfaz gráfica pues se emplea el monitor de la computadora para ello.

Podemos concluir por otro lado, con lo visto en este trabajo, que si bien los autos híbridos no son el modelo de coche perfecto es cierto que son un avance de cara a una tecnología más limpia y menos contaminante.

COMENTARIOS

Con la tecnología existente en la actualidad resulta factible la construcción de vehículos híbridos que no pierdan prestaciones respecto de los vehículos convencionales actuales en el mercado. Todo esto puede ser logrado sin apenas incremento en el precio de venta de los vehículos.

En las ciudades, debido al tráfico del tipo de paradas frecuentes, el empleo de coches y autobuses con estas tecnologías hacen que sea posible mayores reducciones del consumo de gasolina de hasta el 50% y una reducción de las emisiones contaminantes incluso superior debido a la desaparición de los picos de carga.

Por lo visto anteriormente, quizás sea este el tipo de vehículo que sustituya en un futuro cercano a los tradicionales vehículos de motor alternativo que actualmente son muy comunes. Incluso puede cambiar el tipo de motor empleado, pues el motor a gasolina no es precisamente el más eficiente que se ha diseñado. El avance de la tecnología permite la utilización de materiales que mejoran el desempeño de las máquinas y en éste caso, de los motores en general, pues se pueden hacer más ligeros y resistentes lo que mejora sus prestaciones. Por lo tanto, podemos esperar que en un futuro, tengamos vehículos movidos por motores muy eficientes como las turbina a gas en compañía de algún motor eléctrico funcionando conjuntamente en alguna configuración híbrida.

Debido a los diversos tipos de vehículos híbridos que existen, y de las gráficas comparativas de sus rendimientos de combustible de los modelos comerciales, podemos observar que los mejores están en aquellos que han escogido una configuración paralela. El que encabeza la lista es el *Insight 2WD Manual* el cual es un híbrido paralelo con asistencia eléctrica, pues el motor térmico está "asistido" por un motor eléctrico que entrega potencia cuando se solicita un pico de potencia, sin embargo, el motor térmico difícilmente sale de operación mientras el vehículo está en uso. Después de éste modelo, tenemos al *PRIUS II* y al *CIVIC I 2WD CVT* en cuanto al alto rendimiento de combustible. El *Prius* emplea un sistema híbrido paralelo total, es decir, que el motor eléctrico o el motor térmico o ambos en conjunto pueden entregar potencia para mover el vehículo. De lo anterior se pueden obtener varias conclusiones, pero debemos tomar en cuenta lo que se desea del vehículo, por ejemplo, el insight está diseñado para transportar a dos personas como máximo y es el que tiene mayor rendimiento de combustible medido, lo que lo hace ideal para el transporte citadino donde por lo general hay

un conductor por vehículo, sin embargo, tiene poco espacio y puede llevar como máximo dos personas como se había mencionado antes. Por otro lado, el *Prius* está diseñado para cuatro personas y aunque consume más combustible que el *Insight*, tiene más espacio interior y sus prestaciones (sobre todo en aceleración) son muy parecidas a las de los vehículos convencionales de su tipo, claro que con un mejor rendimiento de combustible. Por lo tanto, el mejor modelo híbrido es el que mejor se acomode a las necesidades específicas del diseño y de los usuarios.

El diseño de un buen sistema híbrido implica la participación de diversas disciplinas. Los que diseñan el sistema de control y las piezas mecánicas del sistema de transmisión y potencia deben trabajar en conjunto sobre un diseño en específico para poder *sintonizar* todos sus elementos y que éstos trabajen en armonía. Como podemos observar de los modelos comerciales, se puede hacer el motor eléctrico tan potente que por sí solo mueva al vehículo o ajustarlo para que tan solo asista el motor térmico en los picos de potencia que demande el conductor. Si se hace al motor eléctrico más potente, se corre la desventaja de arrastrar más baterías eléctricas que le suministren energía con el subsiguiente aumento de peso del vehículo, lo que baja su eficiencia durante las aceleraciones y frenados. Si se hace menos potente el motor eléctrico, se ahorra peso pero la potencia general del vehículo se ve también disminuida.

APÉNDICE A: Programa del microcontrolador PIC16F874

A continuación se muestra el código fuente del programa en lenguaje ensamblador tal como se descargó al microcontrolador PIC16F874.

```

;*****
;Programa para control del Sistema Híbrido. Mide la
;Velocidad del encoder con la interrupción por TMR0
;para el PIC16F874 que trabaja con un tiempo de
;ciclo máquina de 0.2 microsegundos con un oscilador de 20MHz
;
;*****
__CONFIG    _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _HS_OSC
LIST       P=16F874
INCLUDE    <P16F874.INC>

CBLOCK 0x20
Contador      ;Cuenta los pulsos durante un periodo fijo de tpo.
Indicador     ;Indica puntos clave en el estado del programa
AnguloServo   ;Angulo que debe mantener el servomotor.
AnguloServoTEMP ;Registro de apoyo para el envío del ángulo.
ContadorBits ;registro auxiliar para el envío del ángulo del servo
NCB           ;Nivel de Carga de Batería, sirve para establecer los niveles de almacén.
RetardoFR     ;sirve para retardar la entrada de la FR en un control de velocidad de lazo
              ;cerrado.
  BucleAjusteVelocidad
ENDC

#DEFINE      SenalOptoME      PORTB,7
#DEFINE      SenalOptoG      PORTB,1
#DEFINE      SenalOptoMT     PORTB,2
#DEFINE      SerialServo     PORTB,6
#DEFINE      PermisoServo    PORTB,4
#DEFINE      PolaridadG      PORTC,3 ;Controla la polaridad obtenida según el sentido de giro
              ;del generador
#DEFINE      AceleradorPot   PORTA,0 ;aquí se conecta el potenciómetro acelerador
#DEFINE      GeneradorPot    PORTA,1 ;aquí se conecta el potenciómetro generador
#DEFINE      BateríaCarga    PORTA,3 ;aquí se conecta el potenciómetro motor eléctrico.
#DEFINE      ConmutacionME_G PORTA,2 ;controla el relevador K3 (frenada regenerativa)
#DEFINE      PolaridadME     PORTC,0 ;controla el sentido de giro del motor eléctrico según
              ;polaridad.
#DEFINE      ArranqueMT      PORTB,3 ;indica petición de arranque del motor térmico
#DEFINE      BotonRojo       PORTB,0
#DEFINE      ConclusionArranque PORTB,5 ;Indica la conclusión de proceso si vale CERO,
              ;si vale UNO el proceso de arranque se está llevando a cabo.
#DEFINE      BotonBajaMenu   PORTA,4 ;durante el arranque indica qué tipo de híbrido se
              ;realizará.
#DEFINE      BotonAceptar    PORTA,5 ;indica que este tipo será aceptado.
#DEFINE      LCD_PinRS       PORTE,0 ;aquí se conecta el pin RS del LCD
#DEFINE      LCD_PinRW       PORTE,2 ;aquí se conecta el pin R/W del LCD
#DEFINE      LCD_PinEnable   PORTE,1 ;aquí se conecta el pin ENABLE del LCD
#DEFINE      LCD_BusDatos    PORTD ;se define al puerto D como el bus de datos para el LCD

#DEFINE      MEestatico      Indicador,2
#DEFINE      FgMTprendido    Indicador,1
#DEFINE      FgIntMideVel     Indicador,0

```

```

LeeAcelerador      EQU    b'10000001' ;constante para leer el pot. acelerador según el
                    ;registro ADCON0
LeeGenerador       EQU    b'10001001' ;constante para leer el pot. Generador según el
                    ;registro ADCON0
LeeCargaBateria    EQU    b'10011001' ;constante para leer el arreglo de resistencias que
                    ;indican la carga de la batería.
CargaTMR0          EQU    d'0' ;Carga del TMR0 para una interrupción de 6.5536 mS
Ralenti            EQU    d'100' ;Velocidad mínima estable.
YaArranco          EQU    d'100' ;velocidad a la que se considera que ha arrancado el motor
                    ;térmico.
AnguloArranqueServo EQU    d'120' ;angulo que debe abrir el carburador al momento de arrancar
                    ;el motor térmico
AnguloMaximo       EQU    d'255' ;angulo máximo que permite el carburador
AnguloLibre        EQU    d'135' ;angulo de la resta de los anteriores.
CargaMinimaBateria EQU    d'204' ;carga correspondiente a 11V.
CargaMaximaBateria EQU    d'255' ;carga máxima de soporte de la batería
NoDeBucles         EQU    d'255' ;número de bucles para ajustar la velocidad de los ejes de
                    ;los motores.
NivelFR            EQU    d'1' ;número de repeticiones de disminución de velocidad para que
                    ;entre la Frenada Regenerativa
NivelDeArranqueME EQU    d'10' ;nivel de arranque inicial para el ME partiendo del reposo

```

```

ORG    0x00
goto  Inicio
ORG    0x04
goto  FinConteo_AjusteEncoder

```

Inicio

```

bcf    STATUS,RP0
bcf    STATUS,RP1 ;Acceso al banco 0

bsf    INTCON,7 ;Activa TODAS las interrupciones
clrf   AnguloServo
incf   AnguloServo,f;Previene el valor inicial de cero.
clrf   CCP2L ;EMPIEZA SIN CICLO DE TRABAJO (DUTY CYCLE)
clrf   CCP1L ;EMPIEZA SIN CICLO DE TRABAJO (DUTY CYCLE)
clrf   PORTC ;Limpia el puerto C
clrf   PORTB ;Limpia el puerto B
clrf   PORTA ;Limpia el puerto A
movlw  B'00001100'
movwf  CCP2CON ;ACTIVA MODO PWM
movlw  B'00001100'
movwf  CCP1CON ;ACTIVA MODO PWM para el registro CCP1L
movlw  B'00000111'
movwf  T2CON ;PRENDE TIMER2 Y SE PRESCALA A 16
;-----
bcf    STATUS,RP1
bsf    STATUS,RP0 ;Acceso al banco 1
bcf    PORTE,PSPMODE ;(TRISE<4>)EGarantiza que el puerto D funcione como I/O digitales
clrf   LCD_BusDatos ;Configura Salida al puerto D
movlw  b'00000100'
movwf  ADCON1 ;<7>=0 left Justified,entradas analógicas RA0,RA1,RA3, las demás I/O
                    ;digitales.
movlw  b'11111111'
movwf  PR2 ;Selecciona 255 para el Periodo del PWM
bcf    LCD_PinRS ;Configura Salida para el pin RS
bcf    LCD_PinEnable ;Configura Salida para el pin Enable
bcf    LCD_PinRW ;Configura Salida para el pin RW
bsf    SenalOptoME ;Configura Entrada para el opto del Motor Eléctrico
bsf    SenalOptoG ;Configura Entrada para el opto del Generador
bsf    SenalOptoMT ;Configura Entrada para el opto del Motor Térmico

```

```

bsf   PermisoServo ;Configura Entrada para el pin donde leerà la señal del servo.
bcf   SerialServo  ;Configura Salida para comunicacion serial servo
bcf   ArranqueMT   ;Configura Salida para indicar petición de arranque del motor
      ;térmico.
movlw B'11111001'
movwf TRISC       ;ACTIVA EL PUERTO C COMO DOS SALIDAS <1:2>=0 Y ENTRADAS.<0,3:7>=1
bsf   AceleradorPot;Configura Entrada para el Trimpot del acelerador.
bsf   GeneradorPot ;Configura Entrada para el Trimpot del Generador.
bsf   BateriaCarga ;Configura Entrada para el Trimpot del MotorElectrico
bsf   BotonBajaMenu ;Configura entrada para el botón de cambio de menú
bsf   BotonAceptar  ;Configura entrada para el boton aceptar.
bcf   PolaridadG    ;Configura salida para el relevador K2
bcf   ConmutacionME_G ;Configura salida para el relevador K1
bcf   PolaridadME   ;Configura salida para el relevador K4
bsf   BotonRojo     ;Configura entrada para el botonrojo
bsf   ConclusionArranque;Configura entrada para la señal del Arranque del Motor
      ;térmico.
movlw b'00000111' ;SE HABILITAN RESISTENCIAS pull-up <7>=0
      ;interrupción en el flanco de bajada <6>=0
      ;ciclode reloj interno <5>=0,
movwf OPTION_REG  ;prescaler de 256 asignado al TMR0 <0:2>
bcf   STATUS,RP0  ;Acceso al banco 0
;-----
bcf   ArranqueMT   ;Deja en bajo el pin Indicador de Arranque del motor térmico
bcf   SerialServo  ;deja el bus en alto.
Clrf  CCPR2L
bcf   ArranqueMT   ;Deja en cero la señal de petición de arranque del MT.
clrf  Indicador ;limpia las banderas indicadoras.
clrf  PORTD

call  LCD_Inicializa
movlw Mensaje0
call  LCD_Mensaje
call  Retardo_2s
call  LCD_Borra
movlw Mensaje1
call  LCD_Mensaje
call  Retardo_2s
call  LCD_Borra

goto  Manual ;Manda al programa para entrar al menú de funcionamiento

;ZONA DE MENSAJES PREESTABLECIDOS-----
Mensajes
    addwf PCL,F
Mensaje0
    DT"Modelo",0x00
Mensaje1
    DT"Hibrido",0x00
Mensaje2
    DT"Manual",0x00
Mensaje3
    DT"Serie",0x00
Mensaje4
    DT"Paralelo",0x00
Mensaje5
    DT"Operando",0x00

;-----PROGRAMA PRINCIPAL-----
-----

```



```

    goto    RevisaMEestatico ;puede aumentar la velocidad del ME

    incf    Contador,f
    decf    Contador,f
    btfsc   STATUS,Z ;Contador=0?
    goto    ElMenoGira;SI,ME estatico
DisminuyeVelME ;El ME està girando màs ràpido de lo necesario.
    decfsz  CCPR2L,f
    goto    CriterioFRactiva
    incf    CCPR2L,f
CriterioFRactiva
    decfsz  RetardoFR,f
    goto    DisminuyeBucleAjusteVelocidad
    bsf     ConmutacionME_G ;activa la FR
    goto    DisminuyeBucleAjusteVelocidad
ElMenoGira
    bsf     MEestatico
    bcf     ConmutacionME_G ;desactiva la frenada regenerativa.
    movlw   d'1'
    movwf   CCPR2L ;limpia el PWM del motor
    goto    DisminuyeBucleAjusteVelocidad
RevisaMEestatico
    btfsc   MEestatico
    goto    SuperaFriccion
AumentaVelME
    incfsz  CCPR2L,f
    goto    CriterioFRdesactiva
    decf    CCPR2L,f
CriterioFRdesactiva
    movlw   NivelFR
    movwf   RetardoFR
    bcf     ConmutacionME_G ;desactiva la FR
    goto    DisminuyeBucleAjusteVelocidad
SuperaFriccion
    movlw   NivelDeArranqueME
    movwf   CCPR2L
    bcf     MEestatico
DisminuyeBucleAjusteVelocidad
    decfsz  BucleAjusteVelocidad,f
    goto    AjusteVelocidadME+2 ;NO, el registro aùn no vale cero
    ;SI, el registro vale cero
ParoDeEmergencia?
    btfsc   BotonRojo ;revisa si se solicita par de emergencia o fin de programa
    goto    NivelCorrectoBateria? ;NO, no se solicita paro
    clrf    AnguloServo ;SI, apaga el motor tèrmico
    call    EnviaAnguloServo
    bcf     FgMTprendido
    call    Retardo_400ms
    goto    Inicio ;Pasa a un modo inactivo tras apagar el MT

SeHaArrancadoElMT?
    btfss   FgMTprendido
    goto    ArrancarElMT ;NO se ha arrancado el MT
EstaEnProcesoDeArranque? ;SI se ha arrancado el MT
    btfsc   ConclusionArranque
    goto    AjusteVelocidadME ;SI, todavìa en proceso
MaxAnguloServo ;NO, ya terminò el proceso de arranque
    movlw   d'245' ;angulo màximo para trabajar el motor tèrmico.
    movwf   AnguloServo
    call    EnviaAnguloServo
VelocidadMTmayorCeroaun? ;revisa si està girando el eje del MT

```

```

        call    CuentaEncodMT
        incf    Contador,f
        decf    Contador,f
        btfs   STATUS,Z
        goto   AjusteVelocidadME ;SI, eje MT girando
ArrancarElMT;NO, eje MT parado
        call    ArrancaMT
        movlw   CargaMaximaBateria
        movwf   NCB
        goto   AjusteVelocidadME
;-----Fin del Modo Serie-----
;-----SUBROUTINA MODO HIBRIDO PARALELO
        call    LCD_Borra
        movlw   Mensaje5
        call    LCD_Mensaje
ModoPARALELO
        nop
        goto   ModoPARALELO
;-----FIN DEL MODO PARALELO
;-----ZONA DE LIBRERIAS-----
;-----
INCLUDE    <Hibrido.INC>
INCLUDE    <RETARDOS_20MHZ.INC>
INCLUDE    <LCD_MENS.INC>
END

```

El código a continuación se refiere a las librerías a las que se hace referencia en el programa principal mostrado anteriormente.

```

;-----LIBRERÍA <Hibrido.INC>-----
;-----SUBROUTINA Medición De Potenciómetros-----
MedicionPotAcelerador ;---Mide el voltaje analógico de un potenciómetro conectado a 5V.
        movlw   LeeAcelerador
        movwf   ADCON0
        call    Retardo_20micros      ;Tiempo necesario para el convertidor AD.20micros
        bsf     ADCON0,2
        goto   TesteoConversion
MedicionPotGenerador
        movlw   LeeGenerador
        movwf   ADCON0
        call    Retardo_1ms          ;Tiempo necesario para el convertidor AD.
        bsf     ADCON0,2
        goto   TesteoConversion
MedicionCargaBateria
        movlw   LeeCargaBateria
        movwf   ADCON0
        call    Retardo_20micros      ;Tiempo necesario para el convertidor AD.
        bsf     ADCON0,2
TesteoConversion
        btfs   ADCON0,2
        goto   TesteoConversion      ;Espera que termine la conversión
        return
;-----
;-----SUBROUTINA MedicionVelocidad-----
;-Conteo Encoder Motor térmico-----
CuentaEncodMT
        bsf     FgIntMideVel      ;Indica que se ha llamado a la subrutina
        clrf    Contador          ;inicializa a cero el valor del contador
        bcf     INTCON,2          ;limpia el flag de la interrupción por TMR0

```



```

    movlw   CargaTMR0
    movwf   TMR0 ;Carga el TMR0 con el valor requerido.
    bsf     INTCON,5

    btfss   SenalOptoMT
    goto    EstaBajoMT
    goto    EstaAltoMT
CicloMT
    incf    Contador,F
EstaAltoMT
    btfss   FgIntMideVel
    return
    btfsc   SenalOptoMT
    goto    EstaAltoMT
    incf    Contador,f
EstaBajoMT
    btfss   FgIntMideVel
    return
    btfss   SenalOptoMT
    goto    EstaBajoMT
    goto    CicloMT
;-Conteo Encoder Generador-----
CuentaEncodG
    bsf     FgIntMideVel ;Indica que se ha llamado a la subrutina
    clrf    Contador ;inicializa a cero el valor del contador
    bcf     INTCON,2 ;limpia el flag de la interrupción por TMR0
    movlw   CargaTMR0
    movwf   TMR0 ;Carga el TMR0 con el valor requerido.
    bsf     INTCON,5

    btfss   SenalOptoG
    goto    EstaBajoG
    goto    EstaAltoG
CicloG
    incf    Contador,F
EstaAltoG
    btfss   FgIntMideVel
    return
    btfsc   SenalOptoG
    goto    EstaAltoG
    incf    Contador,f
EstaBajoG
    btfss   FgIntMideVel
    return
    btfss   SenalOptoG
    goto    EstaBajoG
    goto    CicloG
;-Conteo Encoder Motor Elèctrico-----
CuentaEncodME
    bsf     FgIntMideVel ;Indica que se ha llamado a la subrutina
    clrf    Contador ;inicializa a cero el valor del contador
    bcf     INTCON,2 ;limpia el flag de la interrupción por TMR0
    movlw   CargaTMR0
    movwf   TMR0 ;Carga el TMR0 con el valor requerido.
    bsf     INTCON,5

    btfss   SenalOptoME
    goto    EstaBajoME
    goto    EstaAltoME
CicloME
    incf    Contador,F
EstaAltoME
    btfss   FgIntMideVel
    return
    btfsc   SenalOptoME
    goto    EstaAltoME
    incf    Contador,f
EstaBajoME
    btfss   FgIntMideVel

```

```

    return
    btfss SenalOptoME
    goto EstaBajoME
    goto CicloME
;--Interrupción por TMR0 para actualizar la velocidad---
FinConteo_AjusteEncoder
    bcf INTCON,2 ;limpia Flag de interrupción por TMR0
    bcf INTCON,5 ;deshabilita interrupción por TMR0
    bcf FgIntMideVel ;Indica que ha finalizado la medición de la velocidad.
    retfie
;-----
;--SUBROUTINA "EnviaAnguloServo"-----
;-----Envia el ángulo a posicionar el Servo por "SerialData"-----
EnviaAnguloServo
    btfsc PermisoServo
    goto EnviaAnguloServo
    btfsc ConclusionArranque
    goto FinEnvioAngulo
    movf AnguloServo,w
    movwf AnguloServoTEMP ;Dato a enviar.
    movlw d'8' ;numero de bits a enviar
    movwf ContadorBits
    bsf SerialServo ;pone en alto el bus, inicia START BIT.
    call Retardo_10micros ;retardo para el bit START.
    call Retardo_2micros
    nop
    nop
    nop
    nop
EnviaBit
    rrf AnguloServo,F ;Lleva el bit a enviar por medio del CARRY
    btfss STATUS,C
    goto EnviaCero
EnviaUno
    nop
    nop
    bsf SerialServo
    goto FinEnvio+2
EnviaCero
    nop
    bcf SerialServo
FinEnvio
    nop
    nop
    call Retardo_4micros ;Retardo entre bits
    call Retardo_2micros
    nop
    nop
    nop
    nop
    decfsz ContadorBits,F ;Comprueba si es el último bit
    goto EnviaBit
    nop
    call Retardo_1micros ;último retardo para ultimo bit
    bcf SerialServo ;Deja el bus listo para otro envío
    rrf AnguloServo,F ;Lleva el bit a enviar por medio del CARRY
FinEnvioAngulo
    return ;Fin del envío
;-----
;-----SUBROUTINA ARRANQUE MT-----
;-----Arranque del MotorTérmico-----
ArrancaMT
    btfsc ConclusionArranque ;Verifica que no esté en proceso de arranque del Motor Térmico
    goto FinArranqueMT
    bsf FgMTprendido;se ha solicitado arranque del motor eléctrico.
EsperaServoCero
    btfsc PermisoServo
    goto EsperaServoCero

```

```

    bsf    SerialServo
    call   Retardo_2micros
    bcf    SerialServo
    call   Retardo_40micros
    call   Retardo_40micros
    call   Retardo_10micros
    bsf    SerialServo
    call   Retardo_20micros
    bcf    SerialServo
RespuestaArranque
    btfss  ConclusionArranque ;Indica mientras vale uno que está en proceso de arranque del MT
    goto  RespuestaArranque
FinArranqueMT
    Return
;-----
;-----SUBROUTINAS DE CONTROL DEL LCD-----
LCD_Inicializa ;prepara el LCD para empezar a trabajar.
    bcf    LCD_PinRW          ;Indica que se va a escribir en el LCD
    bcf    LCD_PinEnable     ;Impide el funcionamiento del LCD
    bcf    LCD_PinRS         ;Activa el modo comando poniendo RS = 0
    call   Retardo_20ms
    movlw  b'00110000'
    movwf  LCD_BusDatos
    bsf    LCD_PinEnable
    call   Retardo_1micros
    bcf    LCD_PinEnable
    call   Retardo_4ms
    call   Retardo_1ms
    movlw  b'00110000'
    movwf  LCD_BusDatos
    bsf    LCD_PinEnable
    call   Retardo_1micros
    bcf    LCD_PinEnable
    call   Retardo_200micros
    movlw  b'00110000'
    movwf  LCD_BusDatos
    bsf    LCD_PinEnable
    call   Retardo_1micros
    bcf    LCD_PinEnable
    movlw  b'00110000'      ;Interface de 8 bits
    movwf  LCD_BusDatos
    bsf    LCD_PinEnable
    call   Retardo_1micros
    bcf    LCD_PinEnable
;ahora se configura el resto de los parámetros
    call   LCD_2Lineas4Bits5x7
    call   LCD_EnviaComando
    call   LCD_Borra
    call   LCD_CursorOFF
    call   LCD_CursorIncr ;Cursor en modo incrementar
    return
;Subrutinas variadas para el control del módulo del LCD
LCD_CursorIncr      ; Cursor en modo incrementar.
    movlw  b'00000110'
    goto   LCD_EnviaComando
LCD_Lineal          ; Cursor al principio de la Línea 1.
    movlw  b'10000000' ; Dirección 00h de la DDRAM
    goto   LCD_EnviaComando
LCD_Linea2         ; Cursor al principio de la Línea 2.
    movlw  b'11000000' ; Dirección 40h de la DDRAM
    goto   LCD_EnviaComando
LCD_PosicionLineal ; Cursor a posición de la Línea 1, a partir de la
    iorlw  b'10000000' ; dirección 00h de la DDRAM más el valor del
    goto   LCD_EnviaComando ; registro W.
LCD_PosicionLinea2 ; Cursor a posición de la Línea 2, a partir de la
    iorlw  b'11000000' ; dirección 40h de la DDRAM más el valor del
    goto   LCD_EnviaComando ; registro W.
LCD_OFF            ; Pantalla apagada.
    movlw  b'00001000'

```

```

    goto    LCD_EnviaComando
LCD_CursorON    movlw   b'00001110'    ; Pantalla encendida y cursor encendido.
                goto    LCD_EnviaComando
LCD_CursorOFF   movlw   b'00001100'    ; Pantalla encendida y cursor apagado.
                goto    LCD_EnviaComando
LCD_Borra       movlw   b'00000001'    ; Borra toda la pantalla, memoria DDRAM y pone el
                goto    LCD_EnviaComando    ; cursor a principio de la línea 1.
LCD_2Lineas4Bits5x7  movlw   b'00101000'    ; Define la pantalla de 2 líneas, con caracteres
LCD_EnviaComando    bcf    LCD_PinRS    ;activa modo comando poniendo RS=0
                goto    LCD_Envia
LCD_Caracter     bsf    LCD_PinRS ;activa el modo "Dato" poniendo RS = 1
LCD_Envia        movwf   LCD_BusDatos
                bsf    LCD_PinEnable
                call   Retardo_1micros
                bcf    LCD_PinEnable
                btfss  LCD_PinRS
                call   Retardo_2ms    ;retardo modo comando
                call   Retardo_100micros    ;retardo modo caracter
                return

;***** Librería "RETARDOS_20MHZ.INC" *****
;
; =====
; Del libro "MICROCONTROLADOR PIC16F874. DESARROLLO DE PROYECTOS"
; E. Palacios, F. Remiro y L. López.
; Editorial Ra-Ma. www.ra-ma.es
; =====
;
; Librería con múltiples subrutinas de retardos, desde 800 nanosegundos hasta 4 segundos.
; Además se pueden implementar otras subrutinas muy fácilmente.
;
; Se han calculado para un sistema microcontrolador con un PIC16F874 trabajando con un cristal
; de cuarzo a 20 MHz. Como cada ciclo máquina son 4 ciclos de reloj, resulta que cada
; ciclo máquina tarda 4 x 1/20MHz = 0.200 µs = 200 nanosegundos.
;
; En los comentarios, "cm" significa "ciclos máquina".
;
; ZONA DE DATOS *****

        CBLOCK
        R_ContA    ; Contadores para los retardos.
        R_ContB
        R_ContC
        ENDC

;
; -----
;
; A continuación retardos pequeños teniendo en cuenta que para una frecuencia de 4 MHz,
; la llamada a subrutina "call" tarda 2 ciclos máquina, el retorno de subrutina
; "return" toma otros 2 ciclos máquina y cada instrucción "nop" tarda 1 ciclo máquina.
;
Retardo_2micros    ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop        ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop        ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop        ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop        ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop        ; Aporta 1 ciclo máquina.
Retardo_1micros    ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop        ; Aporta 1 ciclo máquina.
Retardo_800nanos   ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        return    ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.
;

```

```

; RETARDOS de 20 hasta 500 microsegundos -----
;
Retardo_100micros          ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
    movlw d'164'           ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "K".
    goto RetardoMicros    ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_40micros           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
    movlw d'64'            ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "K".
    goto RetardoMicros    ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_20micros           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'31'            ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "K".
    goto RetardoMicros    ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_10micros           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
    movlw d'14'            ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "K".
    goto RetardoMicros    ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_4micros            ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'5'             ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "K".
;
; El próximo bloque "RetardoMicros" tarda:
;  $1 + (K-1) + 2 + (K-1) \times 2 + 2 = (2 + 3K)$  ciclos máquina.
;
RetardoMicros
    movwf R_ContA          ; Aporta 1 ciclo máquina.
Rmicros_Bucle
    decfsz R_ContA,F       ;  $(K-1) \times 1$  cm (cuando no salta) + 2 cm (al saltar).
    goto Rmicros_Bucle    ; Aporta  $(K-1) \times 2$  ciclos máquina.
    return                 ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.
;
; En total estas subrutinas tardan:
; - Retardo_500micros:  $2 + 1 + 1 + 2 + (2 + 3K) = 500$  cm = 500  $\mu$ s. (para K=164 y 4 MHz).
; - Retardo_200micros:  $2 + 1 + 1 + 2 + (2 + 3K) = 200$  cm = 200  $\mu$ s. (para K= 64 y 4 MHz).
; - Retardo_100micros:  $2 + 1 + 2 + (2 + 3K) = 100$  cm = 100  $\mu$ s. (para K= 31 y 4 MHz).
; - Retardo_50micros :  $2 + 1 + 1 + 2 + (2 + 3K) = 50$  cm = 50  $\mu$ s. (para K= 14 y 4 MHz).
; - Retardo_20micros :  $2 + 1 + 1 + (2 + 3K) = 20$  cm = 20  $\mu$ s. (para K= 5 y 4 MHz).
;
; RETARDOS de 1 ms hasta 200 ms. -----
;
Retardo_40ms                ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'200'           ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms       ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_20ms                ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'100'           ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms       ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_10ms                ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'50'            ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms       ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_4ms                 ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'20'            ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms       ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_2ms                 ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'10'            ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms       ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_1ms                 ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'5'             ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms       ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_400micros           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'2'             ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms       ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_200micros           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'1'             ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
;
; El próximo bloque "Retardos_ms" tarda:
;  $1 + M + M + K \times M + (K-1) \times M + M \times 2 + (K-1) \times M \times 2 + (M-1) + 2 + (M-1) \times 2 + 2 =$ 
;  $= (2 + 4M + 4KM)$  ciclos máquina. Para K=249 y M=1 supone 1002 ciclos máquina
; que a 4 MHz son 1002  $\mu$ s = 1 ms.
;
Retardos_ms

```

```

    movwf R_ContB           ; Aporta 1 ciclo máquina.
Rlms_BucleExterno
    movlw d'249'           ; Aporta Mx1 ciclos máquina. Este es el valor de "K".
    movwf R_ContA         ; Aporta Mx1 ciclos máquina.
Rlms_BucleInterno
    nop                   ; Aporta KxMx1 ciclos máquina.
    decfsz R_ContA,F      ; (K-1)xMx1 cm (cuando no salta) + Mx2 cm (al saltar).
    goto Rlms_BucleInterno ; Aporta (K-1)xMx2 ciclos máquina.
    decfsz R_ContB,F      ; (M-1)x1 cm (cuando no salta) + 2 cm (al saltar).
    goto Rlms_BucleExterno ; Aporta (M-1)x2 ciclos máquina.
    return                ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.
;
;En total estas subrutinas tardan:
; - Retardo_200ms: 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 200007 cm = 200 ms. (M=200 y K=249).
; - Retardo_100ms: 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 100007 cm = 100 ms. (M=100 y K=249).
; - Retardo_50ms : 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 50007 cm = 50 ms. (M= 50 y K=249).
; - Retardo_20ms : 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 20007 cm = 20 ms. (M= 20 y K=249).
; - Retardo_10ms : 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 10007 cm = 10 ms. (M= 10 y K=249).
; - Retardo_5ms  : 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 5007 cm = 5 ms. (M= 5 y K=249).
; - Retardo_2ms  : 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 2007 cm = 2 ms. (M= 2 y K=249).
; - Retardo_1ms  : 2 + 1 + (2 + 4M + 4KM) = 1005 cm = 1 ms. (M= 1 y K=249).
;
; RETARDOS de 0.5 hasta 20 segundos -----
;
Retardo_4s           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'200'     ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
    goto Retardo_1Decima ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_2s           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'100'     ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
    goto Retardo_1Decima ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_1s           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'50'      ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
    goto Retardo_1Decima ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_400ms        ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'20'      ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
    goto Retardo_1Decima ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_200ms        ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'10'      ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
    goto Retardo_1Decima ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_100ms        ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'5'       ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
;
; El próximo bloque "Retardo_1Decima" tarda:
; 1 + N + N + MxN + MxN + KxMxN + (K-1)xMxN + MxNx2 + (K-1)xMxNx2 +
; + (M-1)xN + Nx2 + (M-1)xNx2 + (N-1) + 2 + (N-1)x2 + 2 =
; = (2 + 4M + 4MN + 4KM) ciclos máquina. Para K=249, M=100 y N=1 supone 100011
; ciclos máquina que a 4 MHz son 100011 µs = 100 ms = 0,1 s = 1 décima de segundo.
;
Retardo_1Decima
    movwf R_ContC           ; Aporta 1 ciclo máquina.
R1Decima_BucleExterno2
    movlw d'100'           ; Aporta Nx1 ciclos máquina. Este es el valor de "M".
    movwf R_ContB         ; Aporta Nx1 ciclos máquina.
R1Decima_BucleExterno
    movlw d'249'           ; Aporta MxNx1 ciclos máquina. Este es el valor de "K".
    movwf R_ContA         ; Aporta MxNx1 ciclos máquina.
R1Decima_BucleInterno
    nop                   ; Aporta KxMxNx1 ciclos máquina.
    decfsz R_ContA,F      ; (K-1)xMxNx1 cm (si no salta) + MxNx2 cm (al saltar).
    goto R1Decima_BucleInterno ; Aporta (K-1)xMxNx2 ciclos máquina.
    decfsz R_ContB,F      ; (M-1)xNx1 cm (cuando no salta) + Nx2 cm (al saltar).
    goto R1Decima_BucleExterno ; Aporta (M-1)xNx2 ciclos máquina.
    decfsz R_ContC,F      ; (N-1)x1 cm (cuando no salta) + 2 cm (al saltar).
    goto R1Decima_BucleExterno2 ; Aporta (N-1)x2 ciclos máquina.
    return                ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.
;
;En total estas subrutinas tardan:
; - Retardo_20s: 2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 20000807 cm = 20 s.
; (N=200, M=100 y K=249).

```

```

; - Retardo_10s:      2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 10000407 cm = 10 s.
;                   (N=100, M=100 y K=249).
; - Retardo_5s:      2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 5000207 cm = 5 s.
;                   (N= 50, M=100 y K=249).
; - Retardo_2s:      2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 2000087 cm = 2 s.
;                   (N= 20, M=100 y K=249).
; - Retardo_1s:      2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 1000047 cm = 1 s.
;                   (N= 10, M=100 y K=249).
; - Retardo_500ms:   2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 500025 cm = 0,5 s.
;                   (N= 5, M=100 y K=249).
;
; =====
; Del libro "MICROCONTROLADOR PIC16F84. DESARROLLO DE PROYECTOS"
; E. Palacios, F. Remiro y L. López.
; Editorial Ra-Ma. www.ra-ma.es
; =====

;***** Librería "LCD_MENS.INC" *****
;
; =====
; Del libro "MICROCONTROLADOR PIC16F84. DESARROLLO DE PROYECTOS"
; E. Palacios, F. Remiro y L. López.
; Editorial Ra-Ma. www.ra-ma.es
; =====
;
; Librería de subrutinas para el manejo de mensajes a visualizar en un visualizador LCD.
;
; CBLOCK
; LCD_ApuntaCaracter ; Indica la posición del carácter a visualizar
;                   ; respecto del comienzo de todos los mensajes,
;                   ; (posición de la etiqueta "Mensajes").
;
; LCD_ValorCaracter ; Código ASCII del carácter a
; ENDC              ; visualizar.
;
; Los mensajes tienen que estar situados dentro de las 256 primeras posiciones de la
; memoria de programa, es decir, no pueden superar la dirección 0FFh.
;
; Subrutina "LCD_Mensaje" -----
;
; Visualiza por pantalla el mensaje apuntado por el registro W.
;
; Los mensajes deben localizarse dentro de una zona encabezada por la etiqueta "Mensajes" y que
; tenga la siguiente estructura:
;
; Mensajes ; ¡Etiqueta obligatoria!
; addwf PCL,F ; Posición inicial del mensaje.
; Mensaje0 ; Mensaje terminado en 0x00.
; DT "...", 0x00
; Mensaje1
; ...
; ...
; FinMensajes
;
; La llamada a esta subrutina se realizará siguiendo este ejemplo:
;
; movlw Mensaje0 ; Carga la posición del mensaje.
; call LCD_Mensaje ; Visualiza el mensaje.
;
; LCD_Mensaje
; movwf LCD_ApuntaCaracter ; Posición del primer carácter del mensaje.
; movlw Mensajes ; Halla la posición relativa del primer carácter
; subwf LCD_ApuntaCaracter,F ; del mensaje respecto de etiqueta "Mensajes".
; decf LCD_ApuntaCaracter,F ; Compensa la posición que ocupa "addwf PCL,F".
;
; LCD_VisualizaOtroCaracter
; movf LCD_ApuntaCaracter,W
; call Mensajes ; Obtiene el código ASCII del carácter apuntado.
; movwf LCD_ValorCaracter ; Guarda el valor de carácter.
; movf LCD_ValorCaracter,F ; Lo único que hace es posicionar flag Z. En caso

```

```
    btfsc STATUS,Z          ; que sea "0x00", que es código indicador final
    goto LCD_FinMensaje    ; de mensaje, sale fuera.
LCD_NoUltimoCaracter
    call LCD_Character      ; Visualiza el carácter ASCII leído.
    incf LCD_ApuntaCaracter,F ; Apunta a la posición del siguiente carácter
    goto LCD_VisualizaOtroCaracter ; dentro del mensaje.
LCD_FinMensaje
    return                  ; Vuelve al programa principal.
```


APÉNDICE B: Programa del microcontrolador PIC16F84A

A continuación se muestra el código fuente del programa en lenguaje ensamblador tal como se descargó al microcontrolador PIC16F84A.

```

__CONFIG    __CP_OFF & __WDT_OFF & __PWRTE_ON & __HS_OSC
LIST        P=16F84A
INCLUDE     <P16F84A.INC>

CBLOCK 0x0C          ; La zona de memoria de usuario comienza en esta
Angulo             ;Determina el ángulo del servo por medio del ciclo de trabajo del
                  ; PWM
Angulo_Temp        ;Registro auxiliar para el ciclo de trabajo.
PreajusteServo     ;Registro de retardo para permitir al servo posicionar el ángulo
                  ; correcto para el arranque del motor térmico.

Indicador
ENDC

#DEFINE SerialData    PORTB,6 ;Recibe datos por esta línea
#DEFINE ArranqueMT    PORTB,7 ;Manda señal de petición de arranque del motor térmico
#DEFINE Ventilador    PORTB,3 ;Define la salida que accionará el ventilador.
#DEFINE Bujia         PORTB,2 ;Define la salida para accionar la bujía.
#DEFINE ConmutacionG_ME PORTB,1 ;Define la salida para activar el Generador como Motor
                  ; Eléctrico.
#DEFINE SenalServo    PORTB,0 ;Define la salida de la señal para el servo.
#DEFINE ConclusionArranque PORTA,0 ;Define la salida para el indicador.
#DEFINE FgArranque    Indicador,0 ;indica que se interrumpe el ángulo que tenga en ese
                  ; momento y se posiciona en el de arranque.

AnguloArranqueServo EQU    d'120' ;ángulo que debe abrir el carburador al momento de arrancar
                  ; el motor térmico,
                  ;en el programa inicial es de 140.

ORG    0x00          ; El programa comienza en la dirección 0.
goto   Inicio
ORG    0x04
goto   RecibeDato    ;Dirección de interrupción por cambio de estado en el pin PORTB

Inicio
bsf    STATUS,RP0;----Acceso al banco 1
bcf    ArranqueMT    ;Define Salida para el pin de la señal de arranque del motor
bsf    SerialData    ;Define entrada para SerialData
bcf    SenalServo    ;Define salida para señal servo
bcf    ConmutacionG_ME ;Define salida para el relevador K1
bcf    Bujia         ;Define salida para la bujía
bcf    Ventilador    ;Define salida para el ventilador
bcf    ConclusionArranque ;Define salida para indicar término de proceso.
bcf    STATUS,RP0 ;----Acceso al banco 0
bcf    ArranqueMT    ;Pone a cero la salida del pin ERROR
bcf    SenalServo    ;Pone en cero la señal servo
bcf    ConmutacionG_ME ;pone en cero la señal del relevador K1
bcf    Bujia         ;pone en cero la señal de la bujía
bcf    Ventilador    ;pone en cero la señal del ventilador
bcf    ConclusionArranque ;pone en cero la señal para indicar término de
                  ; proceso.

clrf   Angulo        ;inicia sin angulo de abertura en el carburador.
clrf   Angulo_Temp

```

```

    clrf    PreajusteServo

    call   Retardo_2s
    call   Retardo_1s

    bcf    INTCON,RBIF
    movlw  b'10001000'      ;GIE<7>=1;RBIE<3>=1
    movwf  INTCON          ;Autoriza interrupción por cambio en el puerto b<7:4>

RutinaPWM
    bsf    SenalServo
    call   Retardo_200micros
    call   Retardo_50micros
    call   Retardo_20micros
    call   Retardo_20micros
;-----
    call   Retardo_200micros
    call   Retardo_50micros
    call   Retardo_20micros
    call   Retardo_10micros
    nop
    nop
;-----
    nop
    nop
    movf   Angulo,W      ;por cada incremento retarda 4us.
    movwf  Angulo_Temp;Retardoa los necesarios .296 ms.

PosicionaAngulo
    incf   Angulo_Temp,F      ;Previene el valor inicial de 0°
    decfsz Angulo_Temp,F
    goto   PosicionaAngulo+1
    bcf    SenalServo ;Termina Ciclo de trabajo
    call   Retardo_10ms      ;SemiCiclo muerto PWM
    call   Retardo_2ms
    btfss  FgArranque
    goto   RutinaPWM ;Comienza otro ciclo.
    decfsz PreajusteServo,f
    goto   RutinaPWM
    bcf    FgArranque ;Ya se ha posicionado el servo en el angulo de arranque.
    return
;Subrutina por cambio en el pin RB7-----

CBLOCK
Guarda_W
Guarda_STATUS
ContadorBits
ENDC

RecibeDato
    movwf  Guarda_W      ; Guarda los valores de tenían W y STATUS en el
    swapf  STATUS,W      ; programa principal.
    movwf  Guarda_STATUS
    bcf    STATUS,RP0     ; Garantiza que trabaja en el Banco 0.

    nop
    nop      ;para ajustar tiempo de lectura de start-bit de 10us
    btfss  SerialData    ;
    goto   ArrancaMT ;si solo recibió pulso, se activa el motor térmico.
    movlw  d'8'

```

```

movwf ContadorBits ;palabra de 8 bits
call Retardo_5micros

LeeBit
bcf STATUS,C ;Supone en principio cero
btfsc SerialData ;revisa el dato recibido
bsf STATUS,C ;No, pues cambia a uno
rrf Angulo,F ;Introduce el bit en el registro de lectura.
nop
nop
decfsz ContadorBits,F
goto LeeBit
goto FinTransmision
ArrancaMT
bsf ConclusionArranque ;Indica que ha empezado el proceso de arranque del motor
; térmico.
call Retardo_50micros
call Retardo_20micros
call Retardo_20micros ;tiempo mínimo que debe estar en alto el bus de datos serial
; para indicar que se debe encender el MT
btfss SerialData ;Confirma petición arranque del motor térmico
goto FinTransmision ;Falsa alarma

clrf PreajusteServo ;define el tiempo en que el servo se posicionará en el angulo
; de arranque.El valor de cero representa el tiempo máximo

bsf FgArranque
movlw AnguloArranqueServo
movwf Angulo
call RutinaPWM

bsf Bujia ;Enciende la bujía
call Retardo_500ms ;La precalienta
bsf ConmutacionG_ME ;Se arranca el motor térmico con el generador como motor
call Retardo_2s ;se espera que en cuatro segundos máximo arranque el motor
; térmico

call Retardo_2s
bcf ConmutacionG_ME ;como ya encendió, se regresa a su modo de generador
bsf Ventilador ;Se prende el ventilador para remover el calor del Motor
térmico
call Retardo_20s
bcf Bujia ;Se espera que el motor continúe encendido cuando se apague la bujía.
call Retardo_2s ;Tiempo para estabilizar el motor térmico.

FinTransmision
movlw d'4'
subwf Angulo,w
btfss STATUS,C
bcf Ventilador ;como se solicita apagar MT, se apaga el ventilador

swapf Guarda_STATUS,W ;Restaura registros W y STATUS.
movwf STATUS
swapf Guarda_W,F
swapf Guarda_W,W
bcf INTCON,RBIF
bcf ConclusionArranque ;Indica que ha concluido el proceso de arranque del motor
; térmico.

retfie
;-----
INCLUDE <RETARDOS_4MHZ.INC>
END

```

A continuación se muestra el código de la librería llamada "RETARDOS_4MHZ.INC":

```

; ZONA DE DATOS *****

        CBLOCK
        R_ContA                ; Contadores para los retardos.
        R_ContB
        R_ContC
        ENDC

;
; RETARDOS de 4 hasta 10 microsegundos -----
;
; A continuación retardos pequeños teniendo en cuenta que para una frecuencia de 4 MHZ,
; la llamada a subrutina "call" tarda 2 ciclos máquina, el retorno de subrutina
; "return" toma otros 2 ciclos máquina y cada instrucción "nop" tarda 1 ciclo máquina.
;
Retardo_10micros                ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
        nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
Retardo_5micros                 ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
Retardo_4micros                 ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        return                 ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.

;
; RETARDOS de 20 hasta 500 microsegundos -----
;
Retardo_500micros              ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
        movlw d'164'           ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "K".
        goto RetardoMicros    ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_200micros              ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
        movlw d'64'           ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "K".
        goto RetardoMicros    ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_100micros              ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw d'31'           ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "K".
        goto RetardoMicros    ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_50micros               ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        nop                    ; Aporta 1 ciclo máquina.
        movlw d'14'           ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "K".
        goto RetardoMicros    ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_20micros               ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
        movlw d'5'            ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "K".

;
; El próximo bloque "RetardoMicros" tarda:
;  $1 + (K-1) + 2 + (K-1) \times 2 + 2 = (2 + 3K)$  ciclos máquina.
;
RetardoMicros
        movwf R_ContA          ; Aporta 1 ciclo máquina.
Rmicros_Bucle
        decfsz R_ContA,F       ;  $(K-1) \times 1$  cm (cuando no salta) + 2 cm (al saltar).
        goto Rmicros_Bucle    ; Aporta  $(K-1) \times 2$  ciclos máquina.
        return                 ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.

;
; En total estas subrutinas tardan:

```

```

; - Retardo_500micros: 2 + 1 + 1 + 2 + (2 + 3K) = 500 cm = 500 μs. (para K=164 y 4 MHz).
; - Retardo_200micros: 2 + 1 + 1 + 2 + (2 + 3K) = 200 cm = 200 μs. (para K= 64 y 4 MHz).
; - Retardo_100micros: 2 + 1 + 2 + (2 + 3K) = 100 cm = 100 μs. (para K= 31 y 4 MHz).
; - Retardo_50micros : 2 + 1 + 1 + 2 + (2 + 3K) = 50 cm = 50 μs. (para K= 14 y 4 MHz).
; - Retardo_20micros : 2 + 1 + 1 + (2 + 3K) = 20 cm = 20 μs. (para K= 5 y 4 MHz).
;
; RETARDOS de 1 ms hasta 200 ms. -----
;
Retardo_200ms ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'200' ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_100ms ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'100' ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_50ms ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'50' ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_20ms ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'20' ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_10ms ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'10' ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_5ms ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'5' ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_2ms ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'2' ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
    goto Retardos_ms ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_1ms ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'1' ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "M".
;
; El próximo bloque "Retardos_ms" tarda:
; 1 + M + M + KxM + (K-1)xM + Mx2 + (K-1)Mx2 + (M-1) + 2 + (M-1)x2 + 2 =
; = (2 + 4M + 4KM) ciclos máquina. Para K=249 y M=1 supone 1002 ciclos máquina
; que a 4 MHz son 1002 μs = 1 ms.
;
Retardos_ms ; Aporta 1 ciclo máquina.
    movwf R_ContB
Rlms_BucleExterno
    movlw d'249' ; Aporta Mx1 ciclos máquina. Este es el valor de "K".
    movwf R_ContA ; Aporta Mx1 ciclos máquina.
Rlms_BucleInterno
    nop ; Aporta KxMx1 ciclos máquina.
    decfsz R_ContA,F ; (K-1)xMx1 cm (cuando no salta) + Mx2 cm (al saltar).
    goto Rlms_BucleInterno ; Aporta (K-1)xMx2 ciclos máquina.
    decfsz R_ContB,F ; (M-1)x1 cm (cuando no salta) + 2 cm (al saltar).
    goto Rlms_BucleExterno ; Aporta (M-1)x2 ciclos máquina.
    return ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.
;
;En total estas subrutinas tardan:
; - Retardo_200ms: 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 200007 cm = 200 ms. (M=200 y K=249).
; - Retardo_100ms: 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 100007 cm = 100 ms. (M=100 y K=249).
; - Retardo_50ms : 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 50007 cm = 50 ms. (M= 50 y K=249).
; - Retardo_20ms : 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 20007 cm = 20 ms. (M= 20 y K=249).
; - Retardo_10ms : 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 10007 cm = 10 ms. (M= 10 y K=249).
; - Retardo_5ms : 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 5007 cm = 5 ms. (M= 5 y K=249).
; - Retardo_2ms : 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 2007 cm = 2 ms. (M= 2 y K=249).
; - Retardo_1ms : 2 + 1 + 2 + (2 + 4M + 4KM) = 1005 cm = 1 ms. (M= 1 y K=249).
;
; RETARDOS de 0.5 hasta 20 segundos -----

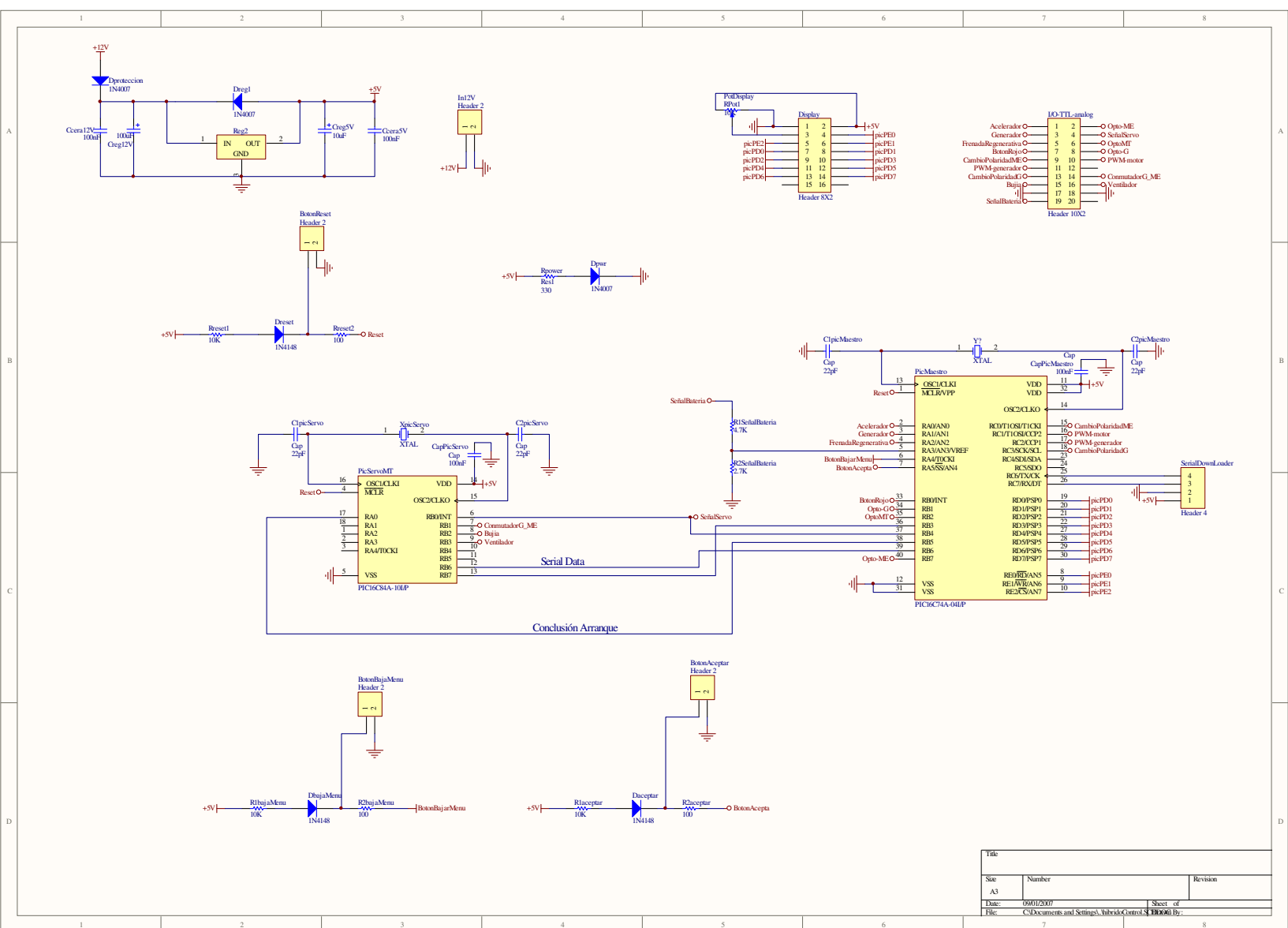
```

```

;
Retardo_20s          ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'200'      ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
    goto Retardo_1Decima ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_10s          ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'100'      ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
    goto Retardo_1Decima ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_5s           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'50'       ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
    goto Retardo_1Decima ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_2s           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'20'       ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
    goto Retardo_1Decima ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_1s           ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'10'       ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
    goto Retardo_1Decima ; Aporta 2 ciclos máquina.
Retardo_500ms        ; La llamada "call" aporta 2 ciclos máquina.
    movlw d'5'        ; Aporta 1 ciclo máquina. Este es el valor de "N".
;
; El próximo bloque "Retardo_1Decima" tarda:
; 1 + N + N + MxN + MxN + KxMxN + (K-1)xMxN + MxNx2 + (K-1)xMxNx2 +
; + (M-1)xN + Nx2 + (M-1)xNx2 + (N-1) + 2 + (N-1)x2 + 2 =
; = (2 + 4M + 4MN + 4KM) ciclos máquina. Para K=249, M=100 y N=1 supone 100011
; ciclos máquina que a 4 MHz son 100011 μs = 100 ms = 0,1 s = 1 décima de segundo.
;
Retardo_1Decima
    movwf R_ContC          ; Aporta 1 ciclo máquina.
R1Decima_BucleExterno2
    movlw d'100'          ; Aporta Nx1 ciclos máquina. Este es el valor de "M".
    movwf R_ContB          ; Aporta Nx1 ciclos máquina.
R1Decima_BucleExterno
    movlw d'249'          ; Aporta MxNx1 ciclos máquina. Este es el valor de "K".
    movwf R_ContA          ; Aporta MxNx1 ciclos máquina.
R1Decima_BucleInterno
    nop                   ; Aporta KxMxNx1 ciclos máquina.
    decfsz R_ContA,F       ; (K-1)xMxNx1 cm (si no salta) + MxNx2 cm (al saltar).
    goto R1Decima_BucleInterno ; Aporta (K-1)xMxNx2 ciclos máquina.
    decfsz R_ContB,F       ; (M-1)xNx1 cm (cuando no salta) + Nx2 cm (al saltar).
    goto R1Decima_BucleExterno ; Aporta (M-1)xNx2 ciclos máquina.
    decfsz R_ContC,F       ; (N-1)x1 cm (cuando no salta) + 2 cm (al saltar).
    goto R1Decima_BucleExterno2 ; Aporta (N-1)x2 ciclos máquina.
    return                ; El salto del retorno aporta 2 ciclos máquina.
;
;En total estas subrutinas tardan:
; - Retardo_20s: 2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 20000807 cm = 20 s.
; (N=200, M=100 y K=249).
; - Retardo_10s: 2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 10000407 cm = 10 s.
; (N=100, M=100 y K=249).
; - Retardo_5s: 2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 5000207 cm = 5 s.
; (N= 50, M=100 y K=249).
; - Retardo_2s: 2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 2000087 cm = 2 s.
; (N= 20, M=100 y K=249).
; - Retardo_1s: 2 + 1 + 2 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 1000047 cm = 1 s.
; (N= 10, M=100 y K=249).
; - Retardo_500ms: 2 + 1 + (2 + 4N + 4MN + 4KMN) = 500025 cm = 0,5 s.
; (N= 5, M=100 y K=249).
;
; =====

```

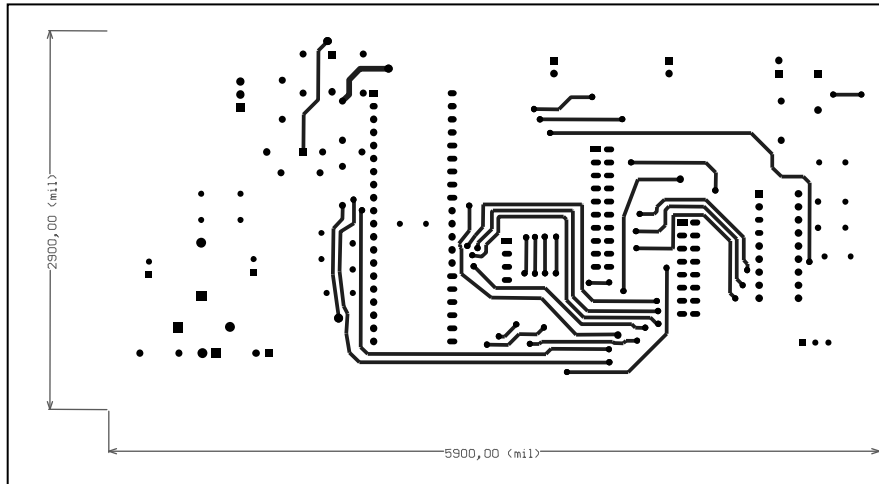

Diagrama del Control:



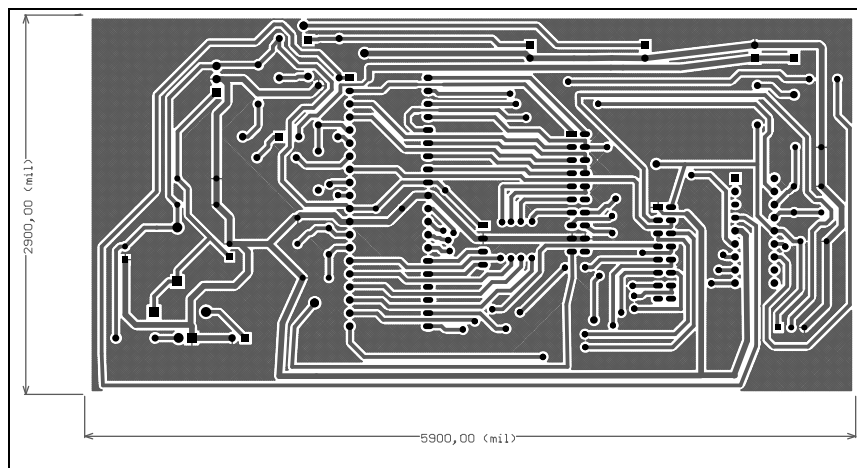
APÉNDICE D: Circuitos Impresos

Los circuitos impresos mostrados a continuación fueron los empleados en el presente trabajo de tesis siendo diseñados con el software llamado "Protel" y manufacturados por la técnica de calcado y baño de ácido de cloruro férrico.

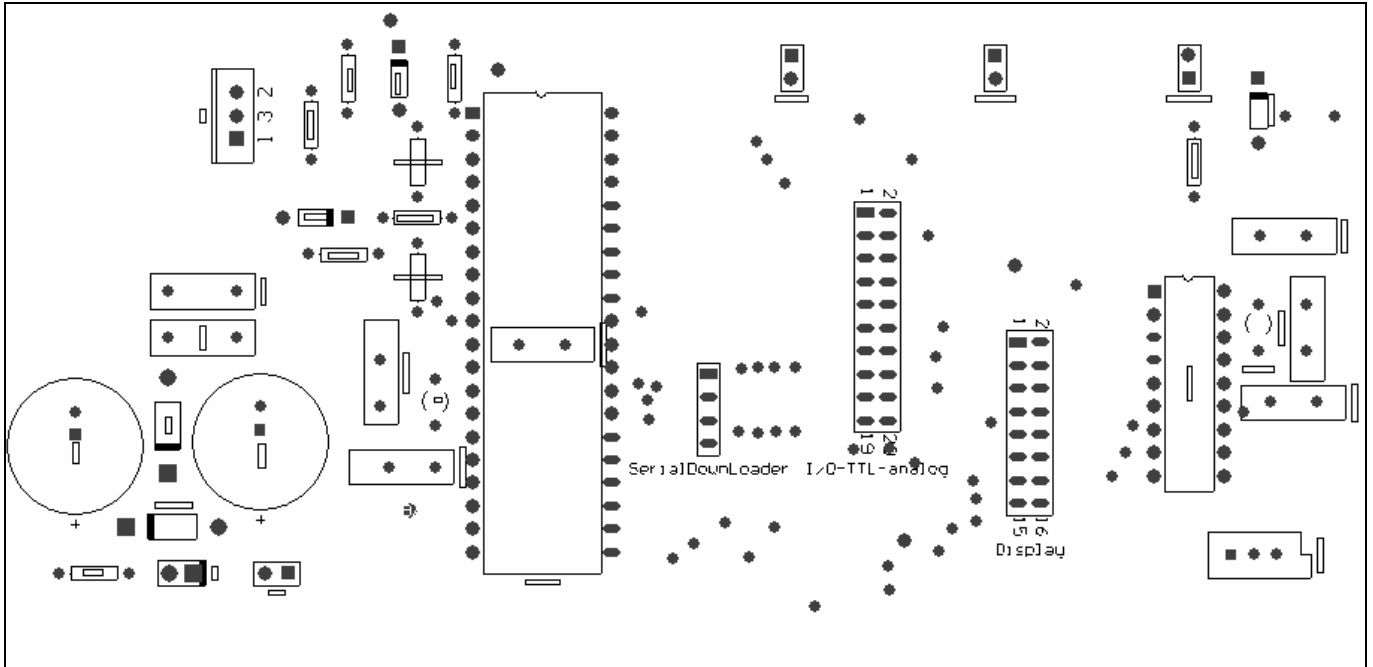
1) Circuito Impreso de los microcontroladores denominado "Planta":



Cara superior del circuito impreso "Control" sobre la cual se montarán los componentes.

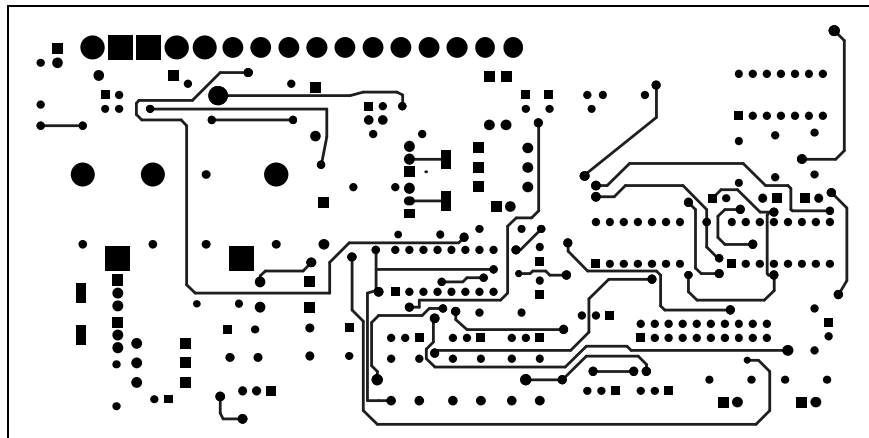


Cara inferior del circuito impreso "Control" donde se soldarán los componentes

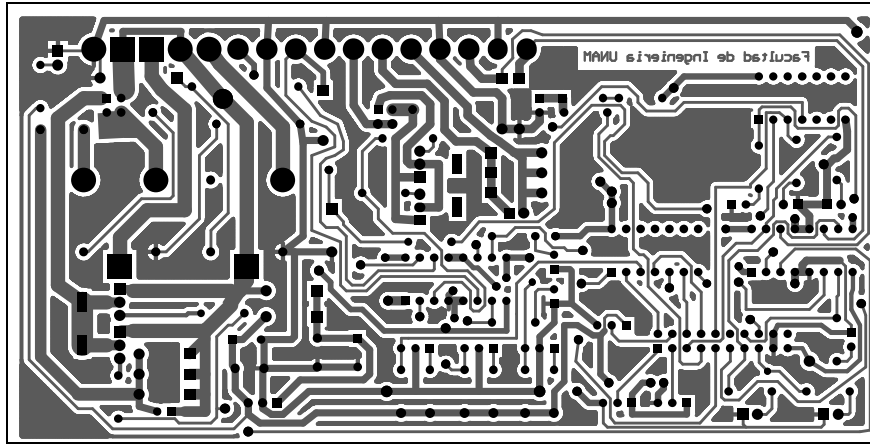


Posición de los componentes en el circuito impreso "Control"

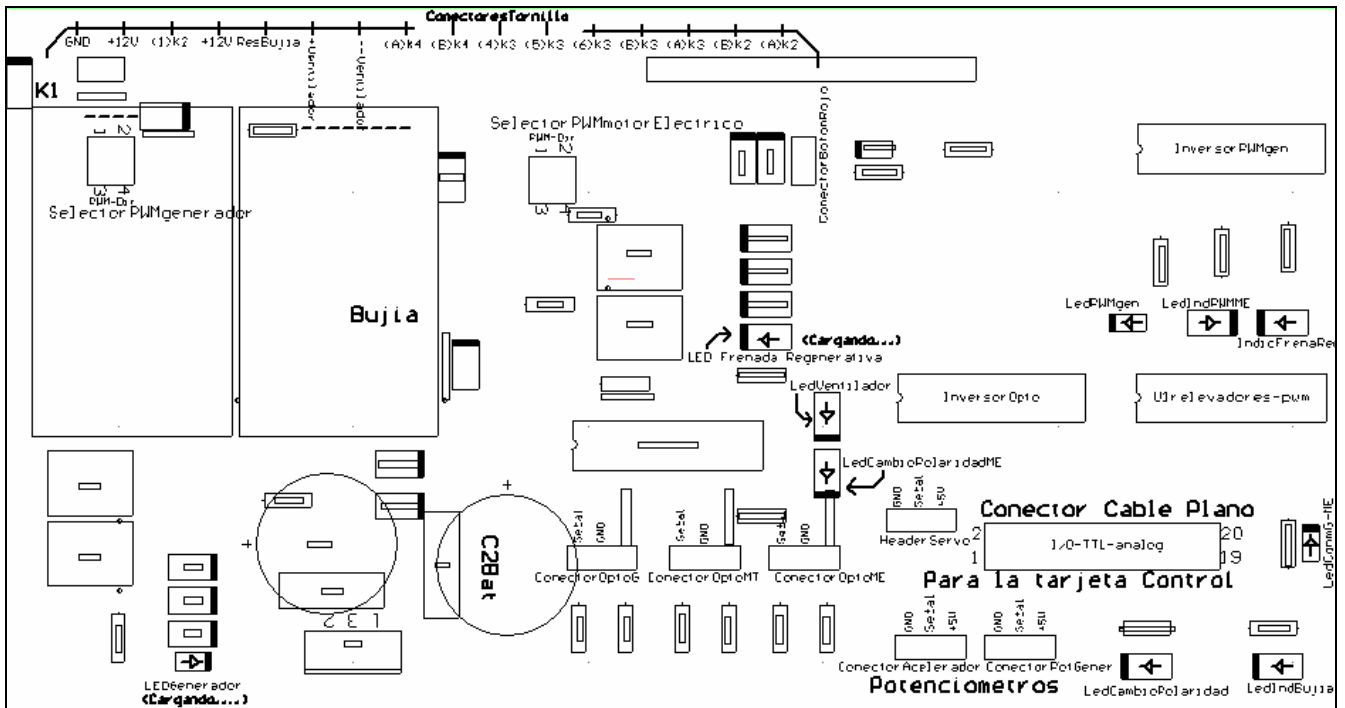
2) Circuito Impreso de componentes de potencia denominado "Planta":



Cara superior del circuito impreso "Planta" sobre la cual se montarán los componentes.



Cara inferior del circuito impreso "Planta" donde se soldarán los componentes



Posición de los componentes en el circuito impreso "Planta"

APÉNDICE E: Lista de Componentes electrónicos.

La siguiente lista reúne los componentes necesarios para el armado de los circuitos impresos descritos en el Apéndice D, así mismo, se especifican para cada tipo de tarjeta empleada.

Lista para la tarjeta de los microcontroladores denominada “Control”:

Nombre asignado en esquema	Nombre comercial	Descripción
BotonAceptar	Molex	Mahco 2 pines
BotonBajaMenu	Molex	Mahco 2 pines
BotonReset	Molex	Mahco 2 pines
C1picMaestro	Cap	22pF
C1picServo	Cap	22pF
C2picMaestro	Cap	22pF
C2picServo	Capacitor cerámico	22pF
CapPicMaestro	Capacitor cerámico	100nF
CapPicServo	Capacitor cerámico	100nF
Ccera5V	Capacitor cerámico	100nF
Ccera12V	Capacitor cerámico	100nF
Creg5V	Capacitor polarizado	10uF
Creg12V	Capacitor polarizado	100uF
Dacceptar	1N4148	Diodo
DbajaMenu	1N4148	Diodo
Display	Header	Cable plano macho 16 pines
Dproteccion	1N4007	Diodo
Dpwr	1N4007	Diodo
Dreg1	1N4007	Diodo
Dreset	1N4148	Diodo
I/O-TTL-analog	Header	Cable plano macho 12 pines
In12V	Header	Macho de 2-Pines.
PicMaestro	PIC16F874	EPROM-Based 8-Bit CMOS Microcontroller with A/D Converter
PicServoMT	PIC16F84A	EPROM-Based 8-Bit CMOS Microcontroller
PotDisplay	Trimpot	10K
R1acceptar	Resistencia	10K
R1bajaMenu	Resistencia	10K
R1SeñalBateria	Resistencia	4,7K
R2acceptar	Resistencia	100 ohms
R2bajaMenu	Resistencia	100 ohms
R2SeñalBateria	Resistencia	2,7K
Reg2	L7805AC-V	Regulador de voltaje de precisión de 1 Amper.

Rpower	Resistencia	330 ohms
Rreset1	Resistencia	10K
Rreset2	Resistencia	100 ohms
SerialDownloader	Header	Macho de 4-Pines
XpicServo	Crystal 4MHz	Oscilador Cristal
Y?	Crystal 20MHz	Oscilador Cristal
	Placa Fenólica	3" x 2" de una cara de cobre

Lista para la tarjeta de los dispositivos de potencia denominada "Planta":

Nombre asignado en esquema	Nombre comercial	Descripción
Bujia	Relevador	Un polo dos tiros, 10A
C2Bat	Capacitor Electrolítico	100uF
C2reg5V	Capacitor Electrolítico	100uF
CBat	Capacitor Cerámico	100nF
ConectorAcelerador	Molex	Macho de 3-pines
ConectorBotonRojo	Molex	Macho de 2-pines
ConectoresTornillo	ConectoresTornillo	Paso 300
ConectorOptoG	Molex	Macho de 3-pines
ConectorOptoME	Molex	Macho de 3-pines
ConectorOptoMT	Molex	Macho de 3-pines
ConectorPotGener	Molex	Macho de 3-pines
Creg5V	Capacitor Cerámico	100nF
D1gen	Diodo	1N4007
D1SelectorFR	Diodo	1N4007
D2gen	Diodo	1N4007
D2SelectorFR	Diodo	1N4007
D3gen	Diodo	1N4007
D3SelectorFR	Diodo	1N4007
DBotonRed	Diodo	1N4148
DindicEnergia	Diodo	1N4007
DprotConmutadorG-ME	Diodo	1N4007
DprotCortoC	Diodo	1N4007
DproteccionIN	Diodo	1N4007
DprotK2	Diodo	1N4007
DprotK3	Diodo	1N4007
DprotK4	Diodo	1N4007
DprotRelayBujia	Diodo	1N4007
EntradaEnergia	Molex	Macho de 2-pines
HeaderServo	Molex	Macho de 3-pines
I/O-TTL-analog	Header	Cabel plano 20-pines
IndicFrenaReg	LED	3mm
InversorOpto	Inversor Trigger Schmith	HCF40106BEY
InversorPWMgen	inversor.	M74HC04B1R

K1	Relevador	Un polo dos tiros, 10A
LedCambioPolaridad	LED	3mm
LedConmG-ME	LED	3mm
LEDGenerador	LED	3mm
LedIndBujia	LED	3mm
LedIndCambPoME	LED	3mm
LedIndPWMME	LED	3mm
LedIndVentilador	LED	3mm
LedPWMgen	LED	3mm
LEDSelectorFR	LED	3mm
Q1pwmG	Transistor potencia	TIP 125
Q1pwmME	Transistor potencia	TIP 125
Q2pwmG	Transistor potencia	TIP 125
Q2pwmME	Transistor potencia	TIP 125
R1BotonRed	Resistencia	100 ohms
R1OptoG	Resistencia	330 ohms
R1OptoME	Resistencia	330 ohms
R1OptoMT	Resistencia	330 ohms
R1PWMgen	Resistencia	680 ohms
R1pwmME	Resistencia	680 ohms
R2BotonRed	Resistencia	10 k
R2OptoG	Resistencia	18 k
R2OptoME	Resistencia	18 k
R2OptoMT	Resistencia	18 k
R2PWMgen	Resistencia	680 ohms
R2pwmME	Resistencia	680 ohms
RcambioPolaridad	Resistencia	330 ohms
RConmutadorG-ME	Resistencia	100 ohms
Reg5V	regulador de voltaje de precisión	L7805CV
RindBujia	Resistencia	330 ohms
RindCambPoME	Resistencia	330 ohms
RindFrenReg	Resistencia	330 ohms
RindicEnergia	Resistencia	330 ohms
RindPWMmotE	Resistencia	330 ohms
RindVentilador	Resistencia	330 ohms
RledConmG-ME	Resistencia	330 ohms
RledPWMgen	Resistencia	330 ohms
RrelayBujia	Resistencia	100 ohms
SelectorPWMgen-Directo	Header	Macho de 2x2-pines
SelectorPWMmotElec-Directo	Header	Macho de 2x2-pines
U1relevadores-pwm	Circuito para puente H	L293B
U2relevadores-pwm	Circuito para puente H	L293B

BIBLIOGRAFÍA

a) Referencias Impresas.

- [1] Enrique Palacios, Fernando Remiro. *Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de Proyectos*. Ed. Alfaomega, México D.F. 2005
- [2] Microchip Technology Inc. *PIC16F87X Data Sheet 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers*.
- [3] Microchip Technology Inc. *PIC16F84A Data Sheet 18-Pin Enhanced FLASH/EEPROM 8-Bit Microcontroller*.
- [4] Boylestad Robert L. Louis Nashelsky. *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*. Ed. Pearson Education.

b) Referencias WEB.

- [5] <http://www.toyota.com>
- [6] <http://www.tkgbg.se:280/system/ethh.htm>
- [7] <http://hev.cornell.edu/>
- [8] <http://www.greenhybrid.com/compare/mileage/>
- [9] http://www.synopsys.com/products/mixedsignal/saber/auto_design_line.pdf
- [10] <http://www.sustainablemobility.org.vt.edu/step1.php>
- [11] <http://rlai.cs.ualberta.ca/RLL/Hybrid.pdf>
- [12] <http://www.hybridcars.com>
- [13] <http://www.hybridcenter.org/hybrid-center-how-hybrid-cars-work-under-the-hood-2.html>
- [14] http://www.wind.sannet.ne.jp/m_matsu/prius/ThsSimu/index_i18n.html
- [15] <http://www.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/avt/index.shtml>