

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO

Trabajo de graduación presentado por Luis Pedro Alonzo Monterrosa, Edgar Alejandro Duarte Ortega, Rodrigo José Rossal Ruballos, Wilber Sheu Woc para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica; y Juan Andrés Bojórquez Lechuga, Manolo Andrée Corado Díaz y David Gerardo Solano Guerra para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica.

Guatemala

2012

**DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN PROTOTIPO DE UN
VEHÍCULO HÍBRIDO**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

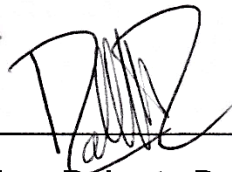
**DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN PROTOTIPO DE UN
VEHÍCULO HÍBRIDO**

Trabajo de graduación presentado por Luis Pedro Alonzo Monterrosa, Edgar Alejandro Duarte Ortega, Rodrigo José Rossal Ruballos, Wilber Sheu Woc para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica; y Juan Andrés Bojórquez Lechuga, Manolo Andrée Corado Díaz y David Gerardo Solano Guerra para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica.

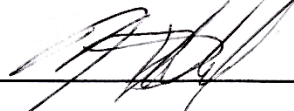
Guatemala

2012

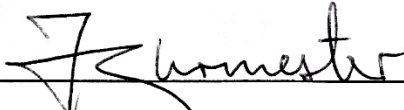
Vo.Bo.:



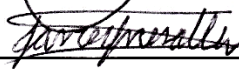
Ing. Roberto Delgado



Ing. Víctor Hugo Ayerdi



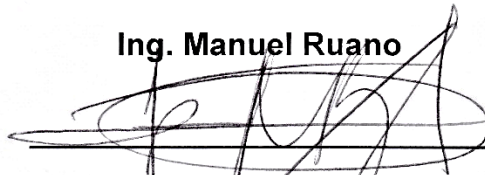
Ing. Juancarlos Burmester




Ing. Javier Mesalles



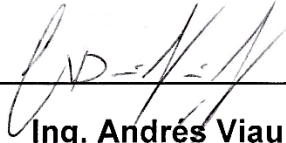
Ing. Manuel Ruano



Ing. Gustavo Rangel



Ing. Julio Vásquez



Ing. Andrés Viau

Fecha de aprobación: Guatemala, 27 de noviembre de 2012

PREFACIO

Durante la historia se ha observado una dependencia en el consumo de combustibles fósiles para sustentar el desarrollo de los países en desarrollo. El informe presentado por la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) en el mes de septiembre del presente año para la estimación en el consumo de este combustible a nivel mundial fue de 88,74 millones de barriles diarios (mbd) y estiman que para el 2013 el consumo se incrementará hasta alcanzar o sobrepasar los 89.55 mbd.

Actualmente, un vehículo es una herramienta esencial para el desarrollo del comercio mundial, pero los incrementos en los combustibles han repercutido directamente en la economía. Desde los inicios del siglo 21, se han desarrollado varias investigaciones y avances en el desarrollo de un nuevo vehículo que utilice un motor de combustión interna (CI). Se ha logrado el desarrollo de un vehículo híbrido, el cual consta de la utilización de dos motores para impulsar el vehículo, un motor CI y un motor eléctrico.

En la actualidad, las investigaciones que se están desarrollando en Guatemala en el campo de la eficiencia energética son escasas pero han tomado interés por parte de entidades gubernamentales y privadas.

Como ingenieros, estamos desarrollando una herramienta capaz de realizar pruebas en la eficiencia energética utilizando fuentes alternativas al uso de los combustibles fósiles. Con el afán de materializar nuestros conocimientos adquiridos durante nuestra vida estudiantil, surge el megaproyecto de un diseño y manufactura de un prototipo de un vehículo híbrido, el cual es proyecto pionero en su clase para el estudio de eficiencia energética aplicada a vehículos en

Guatemala. Dicho proyecto se desarrolló por siete estudiantes de los departamentos de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica de la Universidad del Valle de Guatemala.

ÍNDICE

PREFACIO	ix
ÍNDICE	xi
LISTA DE CUADROS.....	xvii
LISTA DE FIGURAS.....	xix
RESUMEN	xxv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	3
A. GENERALES DEL MEGAPROYECTO.....	3
B. ESPECÍFICOS DEL MEGAPROYECTO.....	3
III. DELIMITACIÓN E IMPACTO DEL TEMA.....	5
IV. ANTECEDENTES	11
A. VEHÍCULOS HÍBRIDOS.....	11
1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS.....	12
B. MOTORES ELÉCTRICOS.....	13
1. MOTOR DE DC CON ESCOBILLAS (BDC).....	13
C. TRANSISTORES.....	15
1. TRANSISTOR BJT.....	16
D. RELÉ.....	17
E. CONTACTOR.....	18
F. MICROCONTROLADOR.....	20
G. CONTROLADOR DC.....	22
V. DESARROLLO DEL MÓDULO DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA Y SISTEMA DE SUSPENSIÓN.....	23
A. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO.....	23
B. DISEÑO.....	24
1. TRANSMISIÓN DE POTENCIA MEDIANTE CADENAS.....	24
C. METODOLOGÍA.....	35
D. CÁLCULOS.....	36
1. TRANSMISIÓN POR CADENA DE RODILLOS.....	36
2. DISEÑO DEL EJE.....	40
3. SELECCIÓN DE COJINETES.....	50

4. CÁLCULO DE CUÑAS.....	52
5. ANÁLISIS DE LA SUSPENSIÓN.....	52
E. RESULTADOS... ..	61
F. DISCUSIÓN.....	64
VI.DESARROLLO DEL MÓDULO DE DISEÑO Y ENSAMBLE DE SISTEMA DE FRENOS Y DIRECCIÓN.....	69
A. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO.....	69
B. DISEÑO.....	69
1. FLUIDOS.....	69
2. PRESIÓN.....	70
3. VISCOSIDAD.....	70
4. FRICCIÓN.....	71
5. FRENOS DE DISCO.....	71
6. DISTANCIA DE FRENADO.....	73
7. FRENOS DE BANDA.....	75
8. SELECCIÓN DE FRENOS.....	76
9. MATERIALES DE FRICCIÓN.....	76
10. TRANSFERENCIA DE CALOR.....	77
11. BRAZO ACKERMAN.....	78
C. METODOLOGÍA.....	79
1. CÁLCULOS CIENTÍFICOS.....	80
2. SISTEMA DE DIRECCIÓN.....	80
3. FRENOS DE DISCO.....	86
4. FRENO DE BANDA.....	95
D. RESULTADOS.....	98
E. DISCUSIÓN.....	100
VII.DESARROLLO DEL MÓDULO DE CONTROL DE MOTORES	105
A. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO.....	105
B. DISEÑO.....	105
1. SELECCIÓN DE MOTORES.....	105
2. CONTROLADOR DEL MOTOR DE LA TRANSMISIÓN.....	109
3. MÓDULO DE CONTROL.....	115

4.	DISTRIBUCIÓN DE POTENCIAL ELÉCTRICO Y PROTECCIÓN DE CIRCUITOS.....	124
5.	DESARROLLO DE PLACAS IMPRESAS (PCB).....	125
6.	MANTENIMIENTO PARA EL MÓDULO DE CONTROL, CONTROLADOR Y MOTOR ELÉCTRICO.....	126
C.	METODOLOGÍA.....	126
D.	RESULTADOS	128
1.	DISTRIBUCIÓN DE POTENCIAL ELÉCTRICO Y PROTECCIÓN DE CIRCUITOS.....	128
2.	DESARROLLO DE PLACAS IMPRESAS (PCB).....	131
3.	MANTENIMIENTO PARA EL MÓDULO DE CONTROL, CONTROLADOR Y MOTOR ELÉCTRICO.....	134
E.	DISCUSIÓN.....	139
1.	SELECCIÓN DE MOTORES.....	139
2.	CONTROLADOR DEL MOTOR DE LA TRANSMISIÓN.....	139
3.	MÓDULO DE CONTROL.....	140
4.	DISTRIBUCIÓN DE POTENCIAL ELÉCTRICO Y PROTECCIÓN DE CIRCUITOS.....	142
5.	DESARROLLO DE PLACAS IMPRESAS (PCB).....	143
6.	MANTENIMIENTO PARA EL MÓDULO DE CONTROL, CONTROLADOR Y MOTOR ELÉCTRICO.....	144
VIII.	DESARROLLO DEL MÓDULO DE RECARGAS DE BATERÍA.....	145
A.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO.....	145
B.	DISEÑO.....	145
1.	SELECCIÓN DE BATERÍAS A UTILIZARSE.....	145
2.	SISTEMA DE RECARGA ESTACIONARIO.....	147
3.	SISTEMA DE RECARGA MÓVIL.....	151
C.	METODOLOGÍA.....	152
D.	RESULTADOS	153
1.	SELECCIÓN DE BATERÍAS A UTILIZARSE.....	153
2.	SISTEMA DE RECARGA ESTACIONARIO.....	155
3.	SISTEMA DE RECARGA MÓVIL.....	165
E.	DISCUSIÓN.....	169
1.	SELECCIÓN DE BATERÍAS A UTILIZARSE.....	169

2.	SISTEMA DE RECARGA ESTACIONARIO.....	170
3.	SISTEMA DE RECARGA MÓVIL.....	171
IX.	DESARROLLO DEL MÓDULO DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA, MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y GENERADOR ELÉCTRICO	173
A.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO.....	173
B.	DISEÑO.....	173
C.	METODOLOGÍA.....	174
D.	RESULTADOS	175
1.	REPARACIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	175
2.	SELECCIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	180
3.	TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	182
4.	EFICIENCIA EN LA TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	183
5.	MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	184
6.	GRADO DE HIBRIDACIÓN.....	192
7.	INSTALACIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EN EL CHASIS.....	193
8.	PLAN DE MANTENIMIENTO.....	194
E.	DISCUSIÓN.....	199
X.	DESARROLLO DEL MÓDULO DE DISEÑO DEL SISTEMA DE SENSORES Y CAPTACIÓN DE ENERGIA SOLAR	205
A.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO.....	205
B.	DISEÑO.....	205
1.	MÓDULO DE SENSORES.....	205
2.	MÓDULO DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR.....	226
3.	SISTEMA CONTROLADOR DE SENSORES.....	230
C.	METODOLOGÍA.....	235
D.	RESULTADOS.....	236
1.	SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE Y DEL MOTOR.....	237
2.	SISTEMA DE MEDICIÓN DEL NIVEL DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE.....	243
3.	SISTEMA DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE CORRIENTE.....	247
4.	SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO.....	252
5.	SISTEMA DE MEDICIÓN DE CARGA DE LA BATERÍA CENTRAL.....	258
6.	SISTEMA DE MEDICIÓN DEL NIVEL LUMÍNICO.....	262

E.	DISCUSIÓN.....	266
1.	SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE Y DEL MOTOR.....	266
2.	SISTEMA DE MEDICIÓN DEL NIVEL DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE....	267
3.	SISTEMA DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE CORRIENTE.....	268
4.	SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO.....	269
5.	SISTEMA DE MEDICIÓN DE CARGA DE LA BATERÍA CENTRAL.....	270
6.	SISTEMA DE MEDICIÓN DEL NIVEL LUMÍNICO.....	272
XI.	DESARROLLO DEL MÓDULO DE COMPUTADORA CENTRAL.....	273
A.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO.....	273
B.	DISEÑO.....	273
1.	ESTRUCTURA COMPUTADORA CENTRAL.....	273
2.	MANEJO PANTALLAS LCD.....	274
3.	USO DEL RTC.....	277
4.	MANEJO DEL ODÓMETRO.....	282
5.	MANEJO DE LA GLCD.....	283
6.	USO DE LA MEMORIA SD.....	291
7.	USO DEL RFID.....	294
8.	COMUNICACIÓN USART MÓDULO SENSORES CON MÓDULO PRINCIPAL.....	295
9.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PLACAS DE COBRE PARA EL MÓDULO.....	296
C.	METODOLOGÍA.....	300
D.	RESULTADOS.....	301
1.	RESULTADOS DE MANEJO DE RTC Y DESPLIEGUE EN LCD.....	301
2.	RESULTADOS DEL MANEJO DEL ODÓMETRO.....	301
3.	RESULTADOS DE GLCD, LECTOR RFID Y MEMORIA SD FUNCIONANDO JUNTOS.....	301
E.	DISCUSIÓN.....	305
XII.	CONCLUSIONES.....	307
XIII.	RECOMENDACIONES.....	313
XIV.	BIBLIOGRAFÍA.....	319
XV.	ANEXOS.....	331
A.	CÓDIGO FUENTE DEL MÓDULO DE CONTROL.....	331

B.	ANEXO DEL MÓDULO TRANSMISIÓN Y SUSPENSIÓN.....	334
C.	ANEXOS DEL MÓDULO DE FRENOS Y DIRECCIÓN.....	341
D.	ANEXOS DEL MÓDULO DE RECARGAS DE BATERÍAS.....	369
E.	ANEXO DE MÓDULO DE COMBUSTIÓN.....	375
F.	ANEXO DEL MÓDULO SENSORES.....	402
G.	ANEXO DEL MÓDULO DE COMPUTADORA CENTRAL.....	408
XVI.	GLOSARIO.....	447

LISTA DE CUADROS

Tabla 1: Propiedades requeridas de la grasa para rodamientos	29
Tabla 2: Cálculo para el centro de masa	49
Tabla 3: Mediciones de sistemas de resorte-amortiguador.....	53
Tabla 4: Cotización en Proventsa	84
Tabla 5: Cotización en aceros suecos	84
Tabla 6: Cotización Masesa	90
Tabla 7: Cotización FPK.....	90
Tabla 8: Resultados de frenado.....	99
Tabla 9: Ventajas y desventajas de un motor BDC.....	106
Tabla 10: Ventajas y desventajas de un motor BDC.....	107
Tabla 11: Ventajas y desventajas de un motor BDC.....	108
Tabla 12: Características del transistor 2N3904 [38]	117
Tabla 13: Características del transistor TIP120 [37]	118
Tabla 14: Clasificación de los distintos voltajes a utilizar	128
Tabla 15: Mediciones prácticas de corriente.....	130
Tabla 16: Características de las placas impresas	131
Tabla 17: Componentes mecánicos	176
Tabla 18: Valores estándar y límites de servicio	177
Tabla 19: Velocidad a ralentí	179
Tabla 20: Comparación de un motor de 2 y 4 tiempos.....	181
Tabla 21: Ajuste en la apertura de la válvula de mariposa del carburador	185
Tabla 22: Regímenes de operación.....	186
Tabla 23: Características de operación del motor de combustión interna	188
Tabla 24: Temperatura del motor a través del tiempo.....	190
Tabla 25: Tabla de torques.....	195
Tabla 26: Tabla de mantenimiento	197
Tabla 27: Mediciones del sensor DS18B20	241
Tabla 28: Mediciones del sensor DS18B20 empaquetado como termocupla.....	241
Tabla 29: Mediciones y márgenes de error medidos para el sensor ACS712	250
Tabla 30: Mediciones del sensor de velocidad simulando el rango del sensor	256
Tabla 31: Mediciones de velocidad tomadas con el sensor Hall	258

Tabla 32: Niveles de carga de batería	260
Tabla 33: Medición de los rangos para nivel lumínico.....	264
Tabla 34: Comandos disponibles para LCD.	275
Tabla 35: Modos de funcionamiento SPI Advanced.....	291
Tabla 36: Intervalos de muestreo de datos para metodo SPI Advanced.....	292
Tabla 37: Comportamiento de reloj en estado de reposo SPI Advanced	292
Tabla 38: Flanco de transmisión de datos para SPI Advanced.....	292
Tabla 39: Propiedades mecánicas de algunos aceros.....	334
Tabla 40: Parámetros de acabado superficial.....	336
Tabla 41: Factores de confiabilidad	337
Tabla 42: Factores de temperatura.....	337
Tabla 43: Propiedades de los materiales del resorte	338
Tabla 44: Dimensiones de cuñas recomendadas	340

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Configuración de un motor BDC [58]	14
Figura 2: Símbolo de un transistor BJT NPN [110]	16
Figura 3: Diagrama interno de un relé [19]	18
Figura 4: Contactor de corriente directa [94].....	19
Figura 5: Contactor de corriente alterna [49].....	19
Figura 6: Diagrama de bloques del PIC16F84A de Microchip [57]	20
Figura 7: Controlador de motores DC Curtis 1204-101	22
Figura 8: Ilustración de sprockets tipo B	25
Figura 9: Diagrama de cuerpo libre del eje	40
Figura 10: Fuerzas en el eje en plano X-Z.....	41
Figura 11: Fuerzas en el eje en plano X-Y.....	41
Figura 12: Diagrama de corte y momento para el plano X-Z.....	42
Figura 13: Diagrama de corte y momento para el plano X-Y	43
Figura 14: Distribución de elementos del vehículo.....	48
Figura 15: Modelo para calcular las reacciones.....	50
Figura 16: Esquema vibratorio equivalente.....	54
Figura 17: Esquema de la configuración de la suspensión trasera	55
Figura 18: Esquema vibratorio de la suspensión	55
Figura 19: Diagrama para el cálculo de la aceleración vertical	56
Figura 20: Comportamiento del desplazamiento de la suspensión	58
Figura 21: Comportamiento de la fuerza transmitida al chasis	59
Figura 22: Sprockets del sistema de transmisión	62
Figura 23: Eje instalado con todos sus componentes	62
Figura 24: Chumaceras instaladas en el vehículo	63
Figura 25: Sistema resorte-amortiguador instalado en el vehículo.....	63
Figura 26: Sistema completamente instalado	64
Figura 27: Diagrama de un freno de disco y pastilla	72
Figura 28: Análisis de fuerzas en frenado con pendiente	73
Figura 29: Frenos de banda	75
Figura 30: Brazo Ackerman con ángulos de giro	78
Figura 31: Trapecio de Jeantaud.....	79
Figura 32: Modelo en elevación.....	81
Figura 33: Modelado en planta	81
Figura 34: Vista en isométrico	82
Figura 35: Giro del timón y llantas	82
Figura 36: Timón con barra ajustable	85
Figura 37: Timón con barra que tiene tres agujeros para diferentes distancias	85
Figura 38: Masa con tambor soldado	86
Figura 39: Vista en planta de masa	87
Figura 40: Vista en planta de masa con disco de freno	87
Figura 41: Diferencia de longitud entre masa izquierda contra derecha.....	91
Figura 42: Bombas de freno sincronizadas.....	93

Figura 43: Separación entre disco y pastilla lado izquierdo y derecho	94
Figura 44: Instalación final de mordaza con los soportes visibles.	95
Figura 45: Tambor colocado en el eje antiguo	95
Figura 46: Freno removido del eje con oxidación	96
Figura 47: Tambor del freno de banda colocado en la masa	96
Figura 48: Prototipo de palanca de freno de mano	97
Figura 49: Instalación final de la palanca de freno de mano	98
Figura 50: Gráfica comportamiento de pruebas de frenado	99
Figura 51: Ángulos de giro.....	100
Figura 52: Frenos de disco y banda instalados.....	100
Figura 53: Mecanismo de dirección con timón ajustable instalado en el vehículo	101
Figura 54: Motor eléctrico de la transmisión	108
Figura 55: Diagrama de bloques del controlador CURTIS 1204-101 [27]	110
Figura 56: Posición de todas las terminales en el controlador	111
Figura 57: Contactor DC Curtis SW60-6.....	112
Figura 58: Relé de activación y desactivación de la aceleración.....	112
Figura 59: Relé de reversa instalado	113
Figura 60: Diagrama de conexión de equipo auxiliar	114
Figura 61: Dos imágenes de la señal PWM generada a diferentes aceleraciones	114
Figura 62: Circuito para disminuir el voltaje de 12VDC a 5VDC.....	116
Figura 63: Relé de activación y desactivación del motor de combustión interna.....	120
Figura 64: Sensor e imán puestos en el motor de combustión.	121
Figura 65: Señal cuadrada generada por el sensor magnético.....	121
Figura 66: Relé utilizado para activar el “starter”	123
Figura 67: Placa con transistores IGBT	124
Figura 68: Organización del sistema de distribución de potencial.....	128
Figura 69: Configuración de conexión de un LM7805.....	129
Figura 70: Esquemático de distribución de voltajes para la circuitería.	130
Figura 71: Lectura de una medición de corriente durante una de las pruebas	131
Figura 72: Esquemático del módulo de control.....	132
Figura 73: Esquemático del accionamiento de la bobina del relé del starter	132
Figura 74: Esquemático de la distribución del potencial eléctrico	133
Figura 75: PCB del módulo de control	133
Figura 76: PCB de distribución de potencial eléctrico	133
Figura 77: PCB del accionamiento de la bobina del relé del starter	134
Figura 78: Placa de control con todos los dispositivos soldados.....	134
Figura 79: Posición correcta del resorte y varilla del acelerador	136
Figura 80: Motor eléctrico DC.....	145
Figura 81: Baterías en serie, total 36V.....	147
Figura 82: Baterías en paralelo, total 12V.....	147
Figura 83: Esquema utilizado para cambio de configuración.	148
Figura 84: Tomacorriente Legrand P17	149
Figura 85: Espiga Legrand P17	149
Figura 86: Esquema para la activación de relés y carga de batería.....	150
Figura 87: Comportamiento de un alternador DC-512 marca WindBlue. [8]	152

Figura 88: Baterías utilizadas.	154
Figura 89: Posicionamiento de las baterías	155
Figura 90: Relé Magnecraft 199X-12.....	156
Figura 91: Voltaje (izquierda) y corriente (derecha) utilizados por los tres relés.	156
Figura 92: Relé desactivado.	157
Figura 93: Relé activado.....	157
Figura 94: Caja de protección de un relé.	158
Figura 95: Estructura principal de prototipo de un vehículo híbrido.....	158
Figura 96: Lado lateral derecha de la estructura del vehículo.	159
Figura 97: Relés interconectados para configuración en serie, paralelo.	159
Figura 98: LEDs verdes de indicación de conexión de batería, rojo de indicación de conexión de cargador (derecha).	160
Figura 99: Caja de control de prueba 1.....	161
Figura 100: Caja de control utilizada.	161
Figura 101: Interior de la caja de control.....	161
Figura 102: Ubicación de la caja de control dentro del vehículo.	162
Figura 103: Adaptador de 12V de 1000mA.....	162
Figura 104: Espiga trifásica mostrando los 3 pines utilizados.	163
Figura 105: Interior del cargador automático.	163
Figura 106: Adaptador de 12V instalado dentro del cargador automático.....	163
Figura 107: Cargador automático Schumacher SC-1200A modificado.	164
Figura 108: Ubicación del tomacorriente trifásico en el vehículo.....	164
Figura 109: Motor de combustión interna acoplado por faja al alternador.....	165
Figura 110: Base fabricado para alternador.....	165
Figura 111: Tensor fabricado para alternador.....	166
Figura 112: Polea del alternador.....	166
Figura 113: Voltaje producido por el alternador sin carga.	167
Figura 114: Corriente del alternador a baterías.	168
Figura 115: Estado interno del motor de combustión interna	177
Figura 116: Estado interno del motor de combustión interna	178
Figura 117: Componentes eléctricos	179
Figura 118: Velocidad de ralentí.....	180
Figura 119: Vista en perfil: Sistema de transmisión de potencia instalada.....	183
Figura 120: Vista en planta: Sistema de transmisión de potencia instalada.....	183
Figura 121: Ajuste de la válvula de mariposa del carburador.....	186
Figura 122: Prueba del voltaje de salida del generador	187
Figura 123: Datos de prueba en regímenes de operación del motor de combustión interna	187
Figura 124: Datos de prueba en regímenes de operación del generador eléctrico	187
Figura 125: Curva de operación de un carburador	189
Figura 126: Gráfico de la temperatura de operación.....	191
Figura 127: Pruebas de temperatura del motor	192
Figura 128: Estructura de soporte para el motor, vista en planta.....	193
Figura 129: Estructura de soporte para el motor, vista lateral.....	194
Figura 130: Pruebas con termocupla tipo K [108]	207

Figura 131: Sensor Dallas DS18B20 [28]	208
Figura 132: Sensor Dallas DS18B20 empaquetado de termocupla	209
Figura 133: Switches indicadores de nivel [1].....	212
Figura 134: Diagrama de los niveles de combustible [92].....	212
Figura 135: Diagrama de un interruptor de láminas [76].....	213
Figura 136: Diagrama explicativo del funcionamiento del sensor de nivel	213
Figura 137: Prototipo preliminar del sensor de nivel	214
Figura 138: Explicación del efecto Hall [102]	216
Figura 139: Sensor ACS712 y su gráfico de rendimiento [86].....	217
Figura 140: Sensor de efecto Hall y su funcionamiento [108]	219
Figura 141: Imán de Neodimio [3].....	220
Figura 142: Circuito medidor de carga [92].....	224
Figura 143: Niveles de carga de la batería [92]	225
Figura 144: Personal de Advanced Energy con el que se colaboró	228
Figura 145: Sensor lumínico TSL235R [87]	230
Figura 146: Diagrama del PIC16F887 [66]	231
Figura 147: Estructura de programación del controlador de sensores	232
Figura 148: Funcionamiento de un Convertidor ADC [96].....	233
Figura 149: Diagrama de circuito acondicionador de voltaje [97].....	234
Figura 150: Diagrama de conexión del sensor DS18B20 [61].....	237
Figura 151: Módulo de conexión del sensor DS18B20 en el EasyPic6.....	238
Figura 152: Comparación de lecturas de temperatura ambiente.....	238
Figura 153: Lectura de temperatura ambiente con termocupla de DS18B20.....	239
Figura 154: Lectura de temperatura ambiente con tres dispositivos distintos	240
Figura 155: Lectura de temperatura con el cautín calentándose.....	240
Figura 156: Diagrama de conexiones DS18B20 en Altium Designer®.....	242
Figura 157: Diseño de PCB para sensor DS18B20 en Altium Designer®.....	242
Figura 158: Pruebas de respuesta del interruptor de lámina.....	243
Figura 159: Sistema empleado para probar el sensor de nivel de combustible.....	244
Figura 160: Flujo de combustible para las pruebas de respuesta del sensor de nivel..	244
Figura 161: Lectura del sensor con el tanque lleno.....	245
Figura 162: Lectura del sensor con medio tanque	245
Figura 163: Lectura del sensor con el tanque vacío.....	246
Figura 164: Diagrama del conector del sensor en Altium Designer®.....	246
Figura 165: Ubicación del conector del sensor en el PCB de control.....	246
Figura 166: PCB del controlador de sensores	247
Figura 167: Diagrama de conexión del sensor ACS712 [86].....	248
Figura 168: Conexión del sensor de corriente durante las pruebas	248
Figura 169: Batería y motor DC usados para las pruebas	248
Figura 170: Sistema empleado para probar el sensor de corriente.....	249
Figura 171: Medición de la corriente consumida.....	249
Figura 172: Lectura de la corriente recibida por el controlador de sensores	250
Figura 173: Comparación de consumo entre el sensor ACS712 y un multímetro	250
Figura 174: Diseño de PCB para los sensores de corriente de batería y panel	251
Figura 175: Diagrama de conexión del sensor de.....	251

Figura 176: PCB de sensores de corriente	252
Figura 177: Simulación del rango de velocidad máximo a alcanzar por el vehículo	253
Figura 178: Simulación de velocidad media para el sensor	253
Figura 179: Simulación de velocidad baja para el sensor	253
Figura 180: Sistema empleado para pruebas de velocidad	254
Figura 181: Esquema de conexión del sensor A3144 [4]	254
Figura 182: Posicionamiento del sensor A3144	254
Figura 183: Respuesta del sensor A3144	255
Figura 184: Lectura de la velocidad alimentando el motor DC con 12V	255
Figura 185: Lectura de la velocidad alimentando el motor DC con 24V	256
Figura 186: Relación de salida del sensor de velocidad	256
Figura 187: Diagrama del circuito para el sensor de velocidad	257
Figura 188: Diseño de PCB para el sistema de medición de velocidad	257
Figura 189: PCB de sensor de velocidad	258
Figura 190: Representación de nivel de batería bajo	259
Figura 191: Representación de nivel de batería medio-bajo	259
Figura 192: Representación de nivel de batería medio-alto	259
Figura 193: Representación de nivel de batería alto	260
Figura 194: Diagrama de conexiones del circuito de medición de carga	260
Figura 195: Diseño en PCB del sistema de medición de batería	261
Figura 196: PCB del sensor de carga	261
Figura 197: Esquema de conexión del sensor TSL235R	262
Figura 198: Implementación en Protoboard del sensor TSL235R	262
Figura 199: Simulación nivel de intensidad lumínico bajo	263
Figura 200: Simulación nivel de intensidad lumínico medio	263
Figura 201: Simulación nivel de intensidad lumínico alto	263
Figura 202: Diagrama de conexiones para el sistema de medición de lumínico	264
Figura 203: Diseño en PCB del sensor para intensidad luminosa	265
Figura 204: PCB del sensor de luz	265
Figura 205: Estructura computadora central	273
Figura 206: Conexión pantallas LCD 2X16 [64]	276
Figura 207: Esquemático conexión DS1307. [62]	278
Figura 208: Estructura memoria RAM DS1307 [94]	278
Figura 209: Conexión DS1307 con PIC16F887	279
Figura 210: División Pantalla GLCD. [64]	283
Figura 211: Conexión de la GLCD con el microcontrolador.	284
Figura 212: Imagen de la variable intensidad solar	287
Figura 213: Herramienta GLCD bitmap editor	287
Figura 214: Matriz generada por bitmap editor	288
Figura 215: Estructura de pixeles en GLCD	289
Figura 216: Circuito controlador de SD. [62]	294
Figura 217: Circuito lector de tarjetas RFID. [61]	294
Figura 218: Capa superior de la placa	296
Figura 219: Capa inferior de la placa	297
Figura 220: Placa de la pantalla GLCD, con el módulo SD y RFID	298

Figura 221: Placa de las pantallas LCD con el circuito RTC.....	299
Figura 222: Placas de cobre con todos los sistemas integrados.....	299
Figura 223: Pantalla LCD desplegando hora y fecha leído del RTC	301
Figura 224: Odómetro del vehículo.....	301
Figura 225: Pantalla inicial del vehículo.....	302
Figura 226: Pantalla GLCD representando que la llave no es valida	302
Figura 227: Pantalla GLCD representando llave válida	302
Figura 228: Pantalla desplegada al pasar llave válida y encender el vehículo	303
Figura 229: Variable de intensidad solar desplegado desde memoria SD	303
Figura 230: Pantalla presentada si no se lee bien la SD.....	303
Figura 231: Pantalla con variable de gasolina y batería.....	304
Figura 232: Velocímetro con un valor entrante del módulo de sensores de 17 km/h ...	304
Figura 233: Variable de temperatura de motor con un valor al 50%	304
Figura 234: Sensibilidad de muesca en flexión.....	334
Figura 235: Sensibilidad de muesca en torsión	335
Figura 236: Factor de concentración de esfuerzo para torsión	335
Figura 237: Factor de concentración de esfuerzo para flexión.....	336
Figura 238: Características del rodamiento instalado	338
Figura 239: Parámetros de operación de rodamientos	339
Figura 240: Grasas recomendadas en función de condiciones de operación	339
Figura 241: Frecuencia de lubricación de rodamientos.....	340
Figura 242: Celda de batería de litio	369
Figura 243: Contactor Curtis SPDT	369

RESUMEN

El presente megaproyecto consiste en el diseño y la construcción de un pequeño vehículo híbrido que utiliza tres tipos de energía; Un motor de combustión interna (energía fósil), un motor eléctrico (energía eléctrica) y un panel solar (energía solar). El mismo tiene la finalidad de ofrecer una primera aproximación para crear un prototipo pequeño, que pueda ser utilizado como una herramienta de investigación en el área de energía renovable.

Además de las funciones de traslación típicas en cualquier vehículo, el mismo contará con sensores y circuitos controladores de potencia para que una computadora central sea capaz de manejar el motor principal y además encender el motor de combustión interna por una señal de baja potencia.

El sistema implementado está construido con una topología de vehículo híbrido en serie, donde el motor eléctrico es el encargado de ofrecer la fuente principal de potencia para el movimiento del prototipo, mientras el motor de combustión interna, por medio de un alternador, es el encargado de cargar las baterías principales, que son las encargadas de alimentar al motor eléctrico. El panel solar provee un sistema de carga para todos los sistemas electrónicos y de control.

En el futuro este prototipo podría ser ampliamente utilizado, para documentar de manera eficiente la cantidad de energía utilizada por cada uno de los sistemas y tomando en cuenta la escala del mismo y las diferencias con un vehículo convencional, poder hacer una comparación y reflejar así las ventajas que ofrecen estos sistemas y ayudar a promover nuevas tecnologías que nos lleven a cambiar los pensamientos más tradicionales y de manera gradual adaptarnos a utilizar métodos de energía renovables.

I. INTRODUCCIÓN

La situación del ámbito energético actual en el mundo, crea una de las necesidades, que deberían tener la prioridad más alta, en el diseño de ingeniería. Dejando a un lado temas de negocio, mercadeo, etc., es indispensable la optimización de los sistemas diseñados en función de una utilización más consciente de los recursos. El impacto o viabilidad que un diseño de ingeniería tiene actualmente puede disminuirse, si para obtener los resultados se hace un mal uso de los recursos, sobre todo, energéticos; ya que además de la conciencia ambiental, estamos llegando a un punto bastante delicado, en lo que respecta a la cantidad de recursos disponibles contrastado con la demanda actual de los mismos.

Es posible ver, cómo los países menos desarrollados, como en el caso de Guatemala, esperan que se elaboren productos, que se haga ingeniería; quedando como consumidores y no promotores de la misma. Sin que sea éste el caso únicamente en nuestro país, la búsqueda de soluciones alternativas, para poder satisfacer la demanda mundial de energía es de extrema importancia; conseguir introducir mediante invención a nuestras sociedades nuevas formas de aprovechar la energía, nuevas formas de transformar cada una de las riquezas que el planeta tiene a nuestra disposición, y así lograr un equilibrio beneficioso en ambas partes.

Como estudiantes de Ingeniería, queremos encontrar la manera, de aprovechar diversos tipos de energías renovables, poco contaminantes para el ambiente e integrarlo en un sistema controlado por computadora. Esto para utilizarla como alimentación de un vehículo de transporte personal, para hacer mediciones e identificar, como el uso de energías alternativas mejora la relación movimiento-consumo usando energías renovables, en contraste con que solo se utilizare energía proveniente de combustibles fósiles.

El vehículo también será utilizado en la Universidad del Valle de Guatemala, para fines académicos, siendo un buen ejemplo práctico para varias clases teóricas como: Mecánica estática, mecánica dinámica, Diseño de maquinaria, Mecanismos, Termodinámica, entre otros.

II. OBJETIVOS

A. GENERALES DEL MEGAPROYECTO

1. Diseñar y ensamblar un carro híbrido capaz de disminuir la relación de consumo de combustible fósil.

B. ESPECÍFICOS DEL MEGAPROYECTO

1. Diseñar un sistema de medición para controlar las variables presentes durante el funcionamiento del vehículo.
2. Implementar un sistema de captación de energía solar.
3. Diseñar e instalar un sistema de transmisión de potencia que sea capaz de mover el vehículo a una velocidad de 30 kilómetros por hora.
4. Implementar un sistema de frenado y de dirección a un prototipo de un vehículo híbrido.
5. Diseñar un sistema que presente las variables del vehículo de una manera agradable para el usuario, con las funciones y variables básicas que tiene cualquier vehículo.
6. Diseñar un sistema de transmisión de potencia del motor de combustión interna hacia el generador eléctrico y obtener una eficiencia de transmisión de potencia mayor al 95%.
7. Construir el módulo de carga para las baterías que serán instaladas dentro del vehículo.
8. Implementar un sistema de arranque automático de un motor de combustión interna y el control de potencia de un motor eléctrico.

III. DELIMITACIÓN E IMPACTO DEL TEMA

En este proyecto se contó con un motor eléctrico de 1.5 caballos de fuerza que utiliza un voltaje de 36V y consume una corriente nominal de 35A, por lo tanto se enfocó en que el prototipo de un vehículo híbrido funcionara con este motor. Este nos limita que la aceleración sea de forma gradual. Si se acelera al máximo y el vehículo se encuentra en reposo, la corriente consumida por el motor es relativamente elevada y este no la soporta, por lo que se corre el riesgo de dañar el motor. Esta restricción también nos limita que el vehículo únicamente debe operar en superficies no inclinadas, de lo contrario la corriente consumida se incrementa y se puede dañar el motor.

El tiempo de recarga de las baterías se limitará por la corriente máxima que obtiene del sistema de carga con un máximo de 12A y también solamente se podrá recargar con 110V cuando se utilice el sistema de recarga estacionaria. La recarga móvil se limitará por 10 minutos para prevenir que el motor de combustión se sobre caliente ya que solamente utiliza aire como sistema de enfriamiento. El espacio en donde se puede instalar las baterías tiene un total de 1,500cm².

Para la transmisión de potencia desde el motor eléctrico hasta el eje motriz del vehículo, el diseño se realizó basado en el torque que produce el motor de 1.5 caballos de potencia a 3600 revoluciones por minuto. El torque y la velocidad angular del motor eléctrico limitan la selección del paso de la cadena de rodillos más adecuada en función de soportar la exigencia del motor eléctrico en operación y la tensión que tendrá que ejercer sobre el eje para darle movimiento. Se contó con una cadena de paso ANSI 35 y para realizar el eje se contó con acero al carbono 1045.

El diseño de la suspensión se limita primordialmente el espacio que se tiene disponible para su instalación. Ya que en la parte trasera estará instalado una

gran cantidad de equipo, el espacio disponible para colocar los sistemas de resorte-amortiguador es muy poco. Luego de haber determinado la posición más adecuada para la instalación de los sistemas resorte amortiguador, se analizaron los sistemas que se tenían disponibles en el taller. Se instaló el sistema-resorte amortiguador que logra absorber la mayor cantidad de fuerza causada por un impacto, que fue resultaba con un factor de amortiguamiento de 0.47.

Se define la trayectoria del vehículo para ser utilizado dentro del parqueo del Colegio Americano de la Universidad del Valle de Guatemala, puesto que es en éste donde se tienen superficies horizontales y pendientes leves; siendo éste recorrido el empleado para trabajar las pruebas de funcionamiento general del auto y las de frenado y cambio en la dirección.

Para los frenos, se emplean dos de disco calculados para un peso de 890 libras con el fin de diseñarlos para una carga adicional a las 600 libras estimadas. Asimismo, se trabajó con el fin de obtener un valor de desaceleración cómodo para un conductor, el cuál es de 3.41 m/s^2 ; observando que un frenado más exigente puede llevar a números mayores de 4.51 m/s^2 . Los valores mencionados anteriormente fueron obtenidos de la asociación americana estatal de autopistas y transporte. Se asume una distancia de frenado de no más de 20 metros, siendo éste un valor estimado según comparación con vehículos de uso convencional, deteniendo una velocidad máxima de 40 km/h, 10 km/h adicionales a la esperada por el vehículo.

Se asume una pendiente de 15 por ciento, siendo éste un valor colocado con la idea de no trabajar en una superficie horizontal puesto que el parqueo del colegio Americano cuenta con una leve inclinación. Para la activación se pretende hacer una fuerza en el pedal menor a 20 libras, observando que es un valor que puede hacer un conductor sin mayor esfuerzo y corroborándolo con una balanza en el pedal de un vehículo convencional. Se emplean únicamente dos frenos de disco de moto ubicados en el eje trasero con ayuda de unas masas torneadas en acero cold rolled. Se usarán bombas delanteras para

motocicleta con el fin de aprovechar la palanca que hacen las manecillas y por su bajo costo.

Además de lo anterior, se realizarán cálculos para un freno de banda que será instalado al mismo auto pero este será empleado para detención manual. De esta forma, el elemento anteriormente mencionado se activara cuando el conductor deje de utilizar el vehículo y de esta forma evitar desplazamiento indeseado. Así mismo, se puede emplear como un medio de detención de emergencia cuando se esté operando el carro, si el piloto amerita un frenado repentino.

Para el tambor y banda empleados en el freno de mano se asume el vehículo en posición de reposo en una bajada con pendiente indicada anteriormente. Se desea que el conductor aplique una fuerza, sobre la palanca de accionamiento, menor a 25 libras, siendo una fuerza aceptable para un conductor en analogía con la fuerza para el levantamiento de peso de la misma magnitud. La barra anteriormente indicada tendrá una graduación para que se ajuste la banda y de esta forma obtener la tensión adecuada a como sea necesitada.

Seguido, se presenta un diseño para el sistema de dirección del auto el cual se realizó para tener un mecanismo sencillo con una fuerza baja de operación para que no se dificulte su uso y reducción de costos. Además se trabajará el giro con el principio del brazo Ackerman y de esta forma obtener radios de giro diferentes para cada llanta al momento de realizar una vuelta. Se realizan cálculos para respaldar con el fin de obtener una fuerza menor a 15 libras, por mano, sobre el timón. Además de evitar que los elementos como varillas o tornillos sufran daños por corte logrando esto al calcular los esfuerzos a los que están sujetos y comparándolo con los que permite el material.

Para el desarrollo del proyecto, se contó con un motor de combustión interna marca Yumbo RoadPower de 125 c.c. de desplazamiento del pistón enfriado por aire. Para delimitar el tiempo de operación del mismo, se realizaron pruebas de campo obteniendo un tiempo máximo de operación de 10 minutos. Luego de

este tiempo, se presentaron sobrecalentamientos. Basado en las necesidades de prolongar la vida de una máquina se creó un plan de mantenimiento. Debido a que no se pudo realizar un análisis químico del estado del aceite, se estimó un plan de mantenimiento menor cada 150 horas de operación y un mantenimiento mayor para cada 300 horas de operación del motor de combustión interna.

Conociendo la distribución de los demás componentes del prototipo diseñado, se decide colocar una estructura en la parte trasera y así poder instalar el motor de combustión interna al chasis. Para el diseño del sistema de transmisión de potencia desde el motor de combustión interna hacia el generador eléctrico, se contó con una distancia máxima entre centros de 13 pulgadas. Debido a las dimensiones del generador eléctrico, se utiliza una distancia de 8 pulgadas entre centros para eliminar interferencias entre el chasis y los componentes instalados.

Basado en las necesidades expuestas por los otros módulos, el presupuesto general del proyecto y los componentes disponibles para su uso, el diseño del sistema de sensores se enfocó en la implementación básica de los sensores solicitados, sin requerir a equipo, ni dispositivos sofisticados. Debido a esto último, no es posible el definir completamente la precisión ni margen de error de estos con exactitud. Los sensores satisfacen la medición y proveen información útil sobre el funcionamiento del vehículo, pero debido a las limitaciones mencionadas no son capaces de generar datos con suficiente precisión para un análisis energético adecuado.

El sistema de captación de energía solar implementado es un sistema comercial de calentadores solares, su uso principal en el proyecto es demostrativo, ya que su conexión únicamente carga las baterías destinadas a la alimentación de los sistemas electrónicos. En caso de requerir un mayor aporte de esta tecnología es necesario replantear no solo las dimensiones del panel solar sino su calidad, lo que conlleva una mayor inversión económica. El aporte energético de la energía solar en el funcionamiento del vehículo, aunque poco

significativo, es medido satisfactoriamente por el módulo de sensores para poder inferir sobre el funcionamiento de este en el sistema.

IV. ANTECEDENTES

A. VEHÍCULOS HÍBRIDOS

Un vehículo híbrido es un vehículo capaz de utilizar un motor eléctrico y un motor de combustión interna para proveer energía y así poder movilizar el vehículo. El principal objetivo de este tipo de vehículo es proveer un menor consumo de combustible fósil acompañado de una menor cantidad de emisiones. [74]

Se ha demostrado que la operación de un motor eléctrico alimentado por un banco de baterías sin la conexión de un motor de combustión interna no provee el suficiente rango de operación durante ciertas condiciones de trabajo (ej. Pendientes, tramos con muchas curvas). Es por esto que se han realizado diversas pruebas e investigaciones en donde se realiza la combinación de un motor de combustión interna junto a un generador eléctrico para cumplir la demanda de potencia y así aumentar el rango de operación del vehículo consumiendo menor cantidad de combustible fósil y a la vez reduciendo emisiones. [74]

Es importante desarrollar la tecnología de los vehículos híbridos ya que:

- 1) Las reservas de petróleo son cada vez menores.
- 2) El consumo de energía proveniente del petróleo va a incrementarse anualmente debido al incremento en la población mundial y la calidad de vida de los países emergentes.
- 3) La tecnología de los motores de combustión interna parece estancada en cuanto a la reducción de consumo y emisiones.
- 4) La lenta introducción de los combustibles sustitutos al petróleo en el mercado.
- 5) El mercado de los vehículos solicita un menor consumo de combustibles fósiles.

1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS HÍBRIDOS.

Existen seis características principales que definen la mejora que presenta un vehículo híbrido por lo que a consumo se refiere. Éstas son: [43]

- a. Arranque: es uno de los puntos en donde se demanda más potencia ya que se requiere acelerar un vehículo desde una velocidad cero hasta una velocidad deseada en un tiempo definido.
- b. Recuperación y reutilización de la energía: en ciertas configuraciones, es posible aprovechar la energía cinética del vehículo en desaceleraciones y frenadas por medio de un generador. Dicha energía reutilizada puede ser usada para alimentar el motor eléctrico.
- c. Menores dimensiones del motor de combustión interna: ya que el motor de combustión interna es asistido por un motor eléctrico, es posible reducir el tamaño del motor de combustión interna.
- d. Optimización de las condiciones de trabajo del motor de combustión: es posible conseguir que las condiciones de trabajo del motor de combustión interna sean las óptimas.
- e. Modo eléctrico: algunas configuraciones permiten el uso totalmente eléctrico. La principal finalidad de este modo es eliminar las emisiones contaminantes producidas por un motor de combustión interna.
- f. Consumo de energía eléctrica directamente de la red: existen dos tipos de vehículos híbridos, los autosuficientes y los que pueden o deben ser conectados a la red eléctrica de forma periódica.

Un motor de combustión interna por si solo debe ser sobre dimensionado para proveer la potencia necesaria máxima cuando se requiera, la cual es varias veces mayor a la potencia utilizada promedio. Es por esto que un sistema híbrido permite el uso de un motor cuya demanda de potencia es constante y puede ser optimizado a un régimen de operación estable lo cual dará como resultado el uso de un motor de combustión interna de menores dimensiones y

menor potencia que en un sistema tradicional en donde el motor de combustión interna es la única fuente de potencia para el vehículo. [74]

B. MOTORES ELÉCTRICOS

Existen muchas variaciones de motores eléctricos y dependiendo de la aplicación que se desee se escoge el motor más adecuado para realizarla. Los motores eléctricos se dividen en dos grandes ramas, los de corriente directa (DC) y los de corriente alterna (AC). Entre los motores DC podemos encontrar los servomotores, paso a paso, motores con escobillas (BDC) y sin escobillas (BLDC). Entre los AC se pueden encontrar servomotores, motores síncronos y asíncronos. En este megaproyecto se utilizarán únicamente los motores tipo BDC.

Un motor eléctrico es un dispositivo dinamoeléctrico encargado de transformar energía eléctrica en energía mecánica por medio de la interacción de campos magnéticos [32].

1. MOTOR DE DC CON ESCOBILLAS (BDC). Los motores de corriente continua con escobillas se utilizan ampliamente en una gran cantidad de aplicaciones. Estos tienen distintas configuraciones y especificaciones dependiendo del uso que se requiera. Son de bajo costo, fáciles de conducir, y están disponibles en todos los tamaños y formas. Estas características dependen de la forma en que estén constituidos el estator y rotor [58].

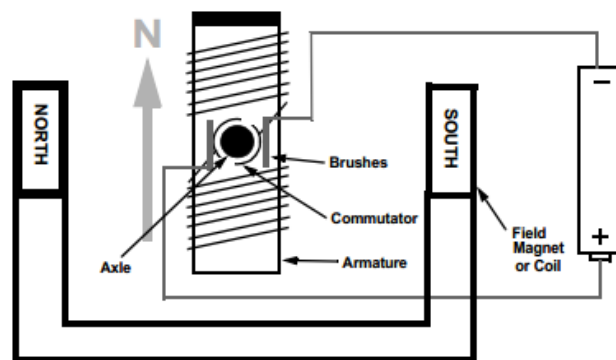
Todo motor BDC está compuesto por las siguientes componentes según fuente [58]:

a. Estator: El estator genera un campo magnético estacionario que rodea al rotor. Este campo es generado por imanes permanentes o ya sea por devanados electromagnéticos. Los motores BDC se pueden distinguir por la construcción del estator o la forma en que los devanados están conectados a la alimentación [58].

b. Rotor: El rotor se compone de una o más bobinas que al momento de ser energizadas producen un campo magnético. Los polos opuestos generados por el rotor serán atraídos a los polos opuestos generados por el estator, haciendo que el rotor gire [58].

c. Conmutador: Este es el componente que diferencia al motor BDC de los demás, ya que este no requiere de un controlador para cambiar de corriente de los devanados del motor. En este motor la conmutación se hace de forma mecánica mediante el uso de dos escobillas de carbono y un colector (formado por láminas de cobre, cada una conectada al final de un devanado del motor). A medida el eje rota los contactos de carbón hacen contacto con las láminas de cobre haciendo que el motor gire. Es importante señalar que las escobillas y el colector son las partes de un motor BDC más propensas a desgaste debido a que se deslizan una con la otra [58].

Figura 1: Configuración de un motor BDC [58]



Los motores BDC pueden ser clasificados de la siguiente manera [58]:

a. Imán permanente: Estos motores son los más comunes del mundo. Utilizan imanes permanentes que producen el campo del estator y un rotor bobinado. La curva de voltaje vs. velocidad de giro es casi lineal y su velocidad de respuesta es rápida ante la aparición de cambios en voltaje debido a que el estator siempre está magnetizado.

b. Paralelo: Tienen el devanado del estator y el rotor conectados en paralelo. Debido a esto tienen un excelente control en la velocidad de giro y son utilizados en aplicaciones que requieren de 5 o más caballos de fuerza.

c. Serie: Estos motores tienen el devanado del estator y el rotor conectados en serie. Son utilizados en aplicaciones que requieren de torque elevado porque la corriente en el estator y rotor incrementan bajo carga. Una desventaja es su velocidad de giro no se puede controlar con facilidad.

d. Compuesto: Son una combinación del motor serie y paralelo. Emplean tanto un devanado en serie como un devanado en paralelo. Debido a esta combinación estos motores presentan las cualidades de buen control de velocidad y alto torque de salida.

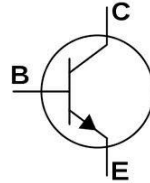
C. TRANSISTORES

Los transistores son dispositivos semiconductores que se utilizan en una gran variedad de aplicaciones que incluyen equipo celular, el control automático, computadoras, entre otras. Este amplio uso se debe a la facilidad con que el transistor amplifica las señales eléctricas. Un amplificador es un convertidor de energía. La señal de entrada solo controla la corriente que entrega la fuente de alimentación. Por lo que utilizando el amplificador, la energía de la fuente de alimentación se convierte en corriente de señal [5].

Los transistores pueden ser utilizados como interruptores o amplificadores y en la actualidad los podemos encontrar en una numerosa variedad como por ejemplo: transistor de unión bipolar (BJT), transistor de efecto de campo (JFET), fototransistor, transistor bipolar de puerta aislada (IGBT), transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET), entre muchos otros. En este megaproyecto se utilizarán dos únicamente los transistores BJT.

1. TRANSISTOR BJT. Existen en dos tipos: el NPN y el PNP, y su flujo de corriente lo indica la flecha que se puede observar en la Figura 2.

Figura 2: Símbolo de un transistor BJT NPN [110]



El transistor es un dispositivo con tres terminales con los siguientes nombres: base (B), colector (C) y emisor (E), el emisor siendo siempre el que tiene la flecha. El transistor bipolar es un amplificador de corriente. Esto quiere decir que si le introducimos una cantidad de corriente por la base, el entregará por el colector una cantidad mayor a esta, en un factor que se llama β (beta). Este es un valor propio de cada transistor [35].

Un transistor BJT puede trabajar en cuatro regiones, la región activa, región inversa, región de corte y la región saturada. A continuación se describe cada una de ellas:

a. Región activa: Cuando un transistor no está ni en su región de corte o región de saturación, se encuentra en la región activa. En esta región, la corriente del colector depende principalmente de la corriente de la base, de β y de las resistencias que se encuentran colocadas en el colector y emisor. Esta región se utiliza cuando se desea utilizar el transistor como amplificador. Las siguientes ecuaciones se utilizan para calcular el transistor en esta región [110].

$$I_c = \beta \cdot I_b$$

$$I_e = (\beta + 1) \cdot I_b$$

b. Región de corte: En este caso el voltaje entre el colector y el emisor es igual al de la fuente de alimentación. Esto se da cuando la corriente de base es igual a 0. Debido a esto, la corriente el colector y emisor también es igual a 0 [110].

c. Región saturada: Un transistor está saturado cuando se desea que la corriente en el colector y emisor sea la máxima posible. En esta región la magnitud de la corriente depende del voltaje de alimentación y de las resistencias conectadas en el colector y/o emisor. En este modo la unión de colector y emisor se comporta como un cable y no se cumplen las ecuaciones descritas en la región activa. Este modo se utiliza cuando se desea utilizar el transistor como un interruptor [110].

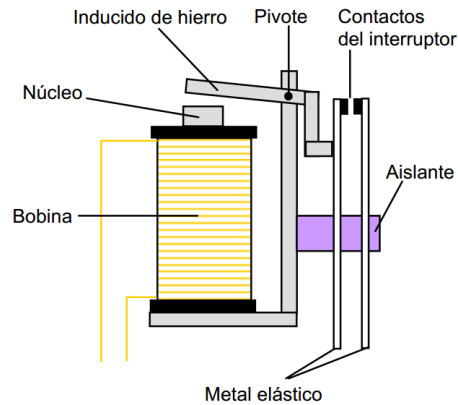
d. Región inversa: En este modo, las regiones del emisor y colector intercambian roles. Debido a que la mayoría de transistores BJT están diseñados para amplificar corriente en modo activo, el parámetro beta en región inversa es drásticamente menor al presente en modo activo [110].

D. RELÉ

El relé es un interruptor accionado por un electroimán. Un electroimán está formado por una barra de hierro dulce, llamada núcleo. Está rodeada por una bobina de hilo de cobre y cuando se hace pasar corriente por esta, el núcleo se magnetiza por efecto del campo magnético. Esto hace que el núcleo se convierta en un imán, y mientras más corriente fluya y más vueltas tenga la bobina, la intensidad se incrementa [19].

El relé más sencillo está formado por un electroimán como el descrito anteriormente y un interruptor de contactos, como se puede observar en la Figura 3. Al pasar una pequeña corriente por la bobina, el núcleo se magnetiza y atrae al inducido por uno de sus extremos, empujando por el otro a uno de los contactos hasta que se juntan, permitiendo el paso de la corriente a través de ellos. Esta corriente es, normalmente, mucho mayor que la que pasa por la bobina [19].

Figura 3: Diagrama interno de un relé [19]



Existe una numerosa cantidad de relés y se clasifican en dos grupos generales, los de estado sólido y los electromecánicos. En este proyecto se utilizarán los relés electromecánicos y se clasifican dependiendo del tipo de alimentación de la bobina, siendo esta de corriente directa o alterna, la corriente que pueden soportar los contactos, el número de polos y número de vías. El polo es el contacto móvil y las vías son los contactos fijos que van a producir el contacto con los polos. Se utilizarán dos tipos de relé: el de un polo y dos vías y el de dos polos y dos vías, en este último se tienen dos vías por cada polo.

E. CONTACTOR.

Un contactor es un tipo de relé utilizado para manejar altas cantidades de potencia. Es un dispositivo electromecánico cuya misión es la de abrir y cerrar contactos para permitir o restringir el paso de corriente a través de ellos. Esto ocurre cuando la corriente de la bobina recibe corriente eléctrica, comportándose como un electroimán y atrayendo dichos contactos [100].

Un contactor consta de tres partes fundamentales [100]:

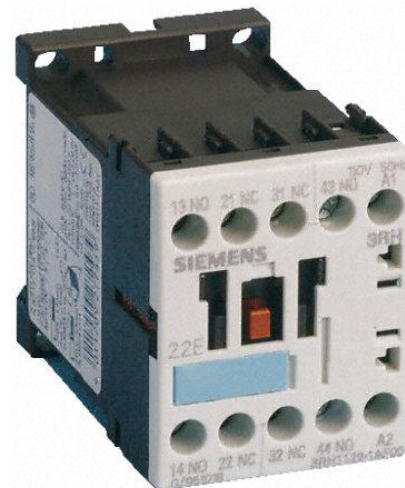
1. **Contactos principales:** Tienen por finalidad abrir o cerrar el circuito de potencia.
2. **Contactos auxiliares (opcionales):** Se emplean en el circuito de mando y por ende soportan menos corriente que los principales.

3. Circuito electromagnético: Es el encargado de activar y desactivar a los contactos principales. Consta de una bobina, un núcleo (parte fija) y la armadura (parte móvil).

Figura 4: Contactor de corriente directa [94]



Figura 5: Contactor de corriente alterna [49]



Para elegir un contactor se debe tomar en cuenta lo siguiente [100]:

1. Tensión de alimentación de la bobina: Puede ser de corriente continua o alterna, siendo esta última la más habitual.

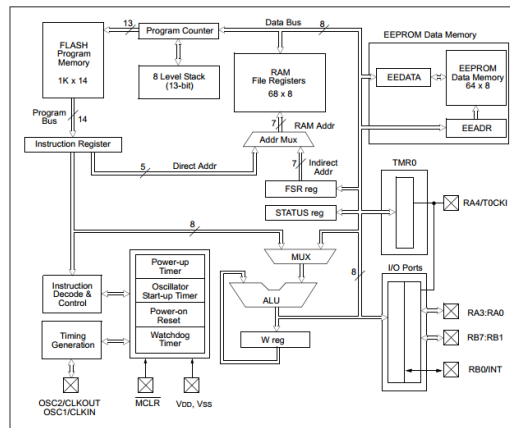
2. Número de veces que el circuito electromagnético va a abrir y cerrar. Hay que tomar el arco eléctrico que se produce cada vez que esto ocurre y el consiguiente deterioro.

3. Corriente de servicio: Es la corriente que consume el dispositivo que va a estar conectado a los contactos principales.

F. MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico que tiene en su interior las tres partes básicas de una computadora: unidad central de procesamiento (CPU), memoria y unidades de entrada y salida. Están contruidos en un circuito integrado y actualmente existen en el mercado una numerosa cantidad de modelos de diversos fabricantes que ofrecen distintas funcionalidades. Funcionan mediante el uso de osciladores que puede decirse que es como el “motor” y sin él, el microcontrolador no funcionaría. [54].

Figura 6: Diagrama de bloques del PIC16F84A de Microchip [57]



El diagrama que se muestra arriba es útil para entender a nivel conceptual, las partes que conforman a un microcontrolador y como se comunican entre sí. Un microcontrolador puede contener diversos módulos, dependiendo de la necesidad que se requiera y de las capacidades en cuanto a memoria RAM y ROM [56].

Los módulos que puede contener un microcontrolador son los siguientes:

- 1. Entradas y salidas de propósito general:** Son conocidos como puertos y generalmente tienen una longitud de 8 bits, permiten escribir datos del interior y leer datos del exterior.
- 2. Temporizadores y contadores:** Son circuitos internos que permiten el conteo de pulsos que llegan de la entrada del reloj, pueden trabajar con osciladores externos teniendo la función de contadores y con osciladores internos teniendo la función de temporizadores.
- 3. Conversor análogo/digital:** Es un módulo que permite la conversión de una señal analógica a una digital. Los más comunes tienen una resolución de 8 y 10 bits, aunque pueden haber de 11 y 12 bits.
- 4. Puerto serie:** Este puerto puede encontrarse casi en la mayoría de microcontroladores y usualmente está bajo el nombre de UART o USART.
- 5. Puerto serie sincrónico:** Es utilizado para comunicar al microcontrolador con otros microcontroladores o con periféricos externos, mediante interfaces SPI o I2C.
- 6. Otros puertos de comunicación:** Debido a la necesidad actual de interconexión de dispositivos, han surgido microcontroladores con otros puertos de comunicación como lo pueden ser puertos USB, CAN, Ethernet, entre otros.
- 7. Comparadores:** Son circuitos analógicos basados en amplificadores operacionales que comparan dos señales analógicas y dan como salida un dato digital.
- 8. Modulación por ancho de pulsos:** Este módulo se basa en la variación del ancho del pulso de una señal cuadrada. Es de gran utilidad cuando se desea controlar la velocidad y el sentido de dirección de motores. También se puede usar para controlar luces, LED's, entre otros.

G. CONTROLADOR DC

Un controlador DC se encarga de administrar la potencia que se envía al motor mediante el uso de transistores de potencia y una señal de ancho de pulso modulada o PWM. Generalmente un controlador cuenta con entrada de voltaje, salidas hacia el motor, entrada del acelerador y en algunos casos la entrada del sentido de giro que se desea. Internamente el controlador cuenta con un microcontrolador, el cual se encarga de procesar la entrada del acelerador para alterar el ancho del pulso de una señal cuadrada para acelerar o desacelerar el motor. Internamente un controlador cuenta con protección contra calor, sobre corrientes así como la prevención de picos de voltaje, haciendo que se tenga una aceleración suave.

Existe una gran variedad de controladores DC y se clasifican dependiendo del tipo de motor que se desea controlar, del voltaje de alimentación y de la corriente que consume. Entre estos podemos encontrar controladores para motores paso a paso (stepper), servomotores, entre otros. El controlador a utilizar en este megaproyecto está diseñado para trabajar con motores orientados al campo del transporte. Estos motores consumen una cantidad elevada de corriente, y el controlador está diseñado específicamente para controlar las altas corrientes y voltajes que se manejan.

Figura 7: Controlador de motores DC Curtis 1204-101



V. DESARROLLO DEL MÓDULO DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA Y SISTEMA DE SUSPENSIÓN

A. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO

1. Determinar qué materiales se requieren para fabricar las piezas diseñadas para que cumplan con un factor de seguridad de 1.5.
2. Seleccionar los rodamientos más adecuados, de acuerdo con los requerimientos del eje de transmisión, diseñando para una vida de 5,000 horas de funcionamiento.
3. Que la relación de amortiguamiento esté entre el rango de 0.2 y 0.35 para que se pueda absorber la mayor cantidad de fuerza transmitida al chasis del vehículo.
4. Describir el comportamiento que tendría el sistema de suspensión luego de pasar por una irregularidad en el camino que cause un impacto en las llantas traseras.
5. Crear un plan de mantenimiento con todas las actividades a realizar y la periodicidad de las mismas, indicando el cuidado del sistema de transmisión y suspensión.

B. DISEÑO

1. TRANSMISIÓN DE POTENCIA MEDIANTE CADENAS

a. TORQUE DEL MOTOR. El torque del motor eléctrico que se utilizará para movilizar al vehículo se puede calcular con la siguiente ecuación que depende de la potencia y de las revoluciones por minuto a las que opera: [13]

$$T = \frac{HP * 63025}{RPM}$$

Para encontrar el torque que se transmitirá a eje que impulsará las llantas se utiliza la siguiente ecuación:

$$\eta \cdot T_1 \omega_1 = T_2 \omega_2$$

En donde η es la eficiencia de la transmisión por cadena, T_1 es el torque del motor eléctrico y T_2 es el torque que se transmitirá al eje. Para encontrar la relación de velocidad angulares se puede utilizar la relación del número de dientes en de los sprockets: [13]

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

b. POTENCIA NOMINAL DE CADENA. La potencia nominal que se puede transmitir con el sistema de cadenas y sprockets, delimitada por las placas del eslabón es: [13]

$$H_1 = 0.004 N_1^{1.08} n_1^{0.9} p^{(3-0.07p)}$$

La potencia nominal limitada por los rodillos del eslabón es:

$$H_2 = 1000 \frac{K_r N_1^{1.5} p^{0.8}}{n_1^{1.5}}$$

Donde

n_1 = velocidad de la catarina, RPM

N_1 = número de dientes de la catarina menor

p = paso de la cadena, pulgadas

$K_r = 29$, para números de cadena 25 y 35

La longitud aproximada de la cadena en pasos, es:

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_1 + N_2)^2}{4\pi^2 C/p}$$

En donde C es la distancia entre centros de los “sprockets”.

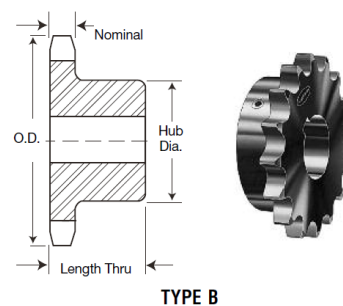
La velocidad angular máxima a la que puede operar un sistema de transmisión por cadena de rodillos es: [13]

$$n_1 = 1000 \left[\frac{82.5}{7.95^p 1.0278^{N_1} 1.323^{F/1000}} \right]^{1/(1.59 \log(p) + 1.873)}$$

En donde F es la fuerza de tensión con la que opera la cadena.

c. SPROCKETS. Los sprockets que se utilizarán serán unos catalogados como tipo B por el fabricante Martin Sprocket. Este tipo de sprocket tiene una parte que sobresale de la rueda dentada que hace que el sprocket sea más estable y trabaje siempre perpendicular al eje. [90]

Figura 8: Ilustración de sprockets tipo B



d. DISEÑO DE EJES. Para el diseño de ejes es necesario tomar en cuenta todas las fuerzas que están actuando sobre él, así como los momentos flexionantes y el torque que se le transmite desde la fuente de potencia; esto con el fin de determinar los esfuerzos combinados a los que está sometido el eje.

Por ser un eje giratorio, el momento combinado flexionante es constante y creará un momento completamente reversible en donde el momento combinado de los dos planos de análisis es el momento alternante y el torque constante es el torque medio.

M_a = Momento alternante

T_m = Torque medio

Los factores de concentración de esfuerzo K_f y K_{fs} se obtienen de las ecuaciones: [13]

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \qquad K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1)$$

q = factor de sensibilidad a la muesca por carga de flexión y axiales, Figura 232 del anexo

$q_{cortante}$ = factor de sensibilidad a la muesca por carga constante, Figura 233 del anexo

K_t = factor de concentración de esfuerzo por flexión, Figura 235 del anexo

K_{ts} = factor de concentración de esfuerzo por torsión, Figura 234 del anexo

Los esfuerzos alternantes y medios de von Mises se definen como:

$$\sigma'_m = \sqrt{3} \frac{16K_{fs}T_m}{\pi d^3} \qquad \sigma'_a = \frac{32K_f M_a}{\pi d^3}$$

De acuerdo con el criterio de Goodman Modificado para el diseño de ejes, si el esfuerzo ultimo a la tensión es menor que 200 kpsi, el límite de resistencia es: [13]

$$S'_e = 0.5S_{ut}$$

Los factores que modifican la resistencia a la fatiga son:

k_a = factor de acabado superficial

k_b = factor de tamaño

k_c = factor de carga

k_d = factor de temperatura

k_e = factor de confiabilidad

k_f = factor de efectos varios

Para tomar en cuenta los factores que modifican la resistencia a la fatiga se utiliza la siguiente ecuación, conocida como ecuación de Marin. [13]

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Para calcular el diámetro en el punto más crítico del eje del vehículo, se utilizará el criterio de Energía de Distorsión de Goodman, ya que este es un criterio conservador que hará que el diseño sea más seguro. [13]

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \left[\frac{1}{S_e} 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{S_{ut}} 4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

El torque alternante T_a y el momento medio M_m son cero, por lo que la ecuación se reduce a la siguiente expresión:

$$d = \left[\frac{16n}{\pi} \left(\frac{2K_f M_a}{S_e} + \frac{\sqrt{3}K_{fs} T_m}{S_{ut}} \right) \right]^{1/3}$$

La ecuación anterior para el diámetro del eje se puede resolver para calcular el factor de seguridad:

$$n = \frac{\pi d^3}{16} \left(\frac{2K_f M_a}{S_e} + \frac{\sqrt{3}K_{fs} T_m}{S_{ut}} \right)^{-1}$$

e. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS. La clasificación C_{10} del catálogo de SKF para cojinetes de bolas con una confiabilidad mayor al 90% se define por la siguiente ecuación. [13]

$$C_{10} = F_D \left[\frac{x_D}{(x_o + (\theta - x_o)(1 - R_D)^{1/b})} \right]^{1/a}$$

La razón entre la vida que se desea para el cojinete y la vida nominal del fabricante es representada por x_D , y se define como: [13]

$$x_D = \frac{60L_D n_D}{60L_R n_R}$$

En donde:

L_D = vida deseada, horas

n_D = velocidad deseada, rpm

L_R = vida nominal, horas

n_R = velocidad nominal, rpm

C_{10} = clasificación de catalogo, kN

F_D = carga radial, kN

x_o = 0.02 valor mínimo de la variante para una confiabilidad del 90%

$\theta - x_o$ = 4.439 parámetro característico para una confiabilidad del 90%

b = 1.483 parámetro de la forma que controla el sesgo para una confiabilidad del 90%

R_D = confiabilidad

f. LUBRICACIÓN DE RODAMIENTOS CON GRASA. Según la Tabla 1, las propiedades que debe tener la grasa que se le debe aplicar a los rodamientos de bolas son:

- Propiedades antioxidantes
- Agentes anti espumantes
- Agentes anti desgaste
- Inhibidores de oxidación
- No miscible en agua
- Inhibidores de corrosión

Tabla 1: Propiedades requeridas de la grasa para rodamientos

Additive	Journal Bearings	Ball Bearings	Thrust Bearings	Roller Bearings	Needle Bearings
Antioxidants	•	•	•	•	•
Antifoam Agents	•	•	•	•	•
Antiwear/EP	•	•	•	•	•
Rust Inhibitors	•	•	•	•	-
Extreme Pressure	•	•	-	-	•
Demulsibility	•	•	•	•	-
VI Improvers	-	-	-	-	•
Corrosion Inhibitors	•	•	•	•	•

• Required, - Depends on application

g. CÁLCULO DE CUÑAS. Para determinar si las cuñas soportan la carga cuando transmiten el torque al eje, se debe analizar los posibles modos de falla, estos son por corte en la sección transversal de la cuña y por aplastamiento en la superficie. [25]

Para analizar la cuña por corte, se calcula el esfuerzo:

$$\tau = \frac{2T}{DLw}$$

Y el esfuerzo por aplastamiento es:

$$\sigma = \frac{4T}{DLh}$$

Donde:

σ = esfuerzo de aplastamiento

τ = esfuerzo de corte

L = longitud de la cuña

h = altura de la cuña

w = ancho de la cuña

D = diámetro del eje

T = torque que transmite la cuña

h. ANÁLISIS DE LA SUSPENSIÓN

1) ECUACIÓN DIFERENCIAL DEL SISTEMA VIBRATORIO. Para analizar la suspensión trasera se utilizará el modelo de respuesta a la excitación impulso, en donde la ecuación diferencial que gobierna el sistema vibratorio es:
[8]

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = \frac{F\delta(t)}{m}$$

\ddot{x} = segunda derivada de la posición

\dot{x} = primera derivada de la posición

x = posición

ζ = constante de amortiguamiento

ω_n = frecuencia angular natural del sistema

F = fuerza de impacto

$\delta(t)$ = función Delta de Dirac

m = masa del sistema

La función Delta de Dirac se utiliza para modelar excitaciones impulso y se describe como $f(t) = f_0\delta(t)$, en donde f_0 es la magnitud del impacto recibido en las llantas traseras. [8]

2) FUNCIÓN DE MOVIMIENTO. La solución general de la ecuación se puede utilizar para describir el comportamiento del movimiento de la parte trasera del vehículo: [8]

$$x(\tau) = \frac{f_0}{m\omega_n} \frac{e^{-\zeta\tau}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\sqrt{1-\zeta^2}\tau) u(\tau)$$

En donde $u(\tau)$ = es la función escalón y τ es el producto del tiempo y la frecuencia natural del sistema, $\tau = \omega_n t$. [8]

3) FUNCIÓN DE FUERZA. La ecuación que describe el comportamiento de la fuerza que sufre la parte trasera también puede ser útil para la descripción del comportamiento de la suspensión del vehículo: [8]

$$\frac{F_b}{f_0\omega_n} = \frac{1}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_d t + \psi) \quad \psi = \tan^{-1} \left(\frac{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}}{1-2\zeta^2} \right)$$

f_0 = magnitud de la fuerza de impacto

ζ = factor de amortiguamiento

ω_d = frecuencia natural amortiguada

El factor de amortiguamiento es la relación entre la constante de amortiguamiento que tiene el sistema de resorte-amortiguador y la constante de amortiguamiento crítico. Este factor se puede calcular con la siguiente ecuación: [8]

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

En donde c es la constante de amortiguamiento del sistema de resorte-amortiguador.

La decisión de qué sistema de resorte-amortiguador se instalará en el vehículo estará basada en el criterio que dice que para obtener el decremento máximo en la cantidad de fuerza que se transmite al chasis del vehículo a causa de un impacto, el factor de amortiguamiento del sistema debe estar entre 0.2 y 0.35. [8]

4) FRECUENCIA NATURAL Y AMORTIGUADA. Para un sistema amortiguado, la frecuencia natural del sistema y la frecuencia natural amortiguada se pueden calcular con las siguientes ecuaciones: [8]

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad \omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$$

5) COMBINACIÓN DE CONSTANTES. Para simplificar el sistema vibratorio se combinarán las constantes de rigidez de los resortes y las constantes de amortiguamiento de los amortiguadores. Ya que estos sufren la misma deformación con el movimiento de la parte trasera del vehículo, se considera que están en paralelo, por lo que la regla para sumar dos constantes de rigidez y dos constantes de amortiguamiento dicta que la constante equivalente en ambos casos es la suma aritmética.

Constante de rigidez equivalente

$$k_e = k_1 + k_2$$

Constante de amortiguamiento equivalente

$$c_e = c_1 + c_2$$

i. AMORTIGUADORES. Los amortiguadores se utilizan para absorber el exceso de fuerza del rebote del vehículo, es decir, eliminando los efectos de las irregularidades del camino. Los más utilizados son los de pistón y telescópicos. Permiten que las oscilaciones producidas por las irregularidades del camino sean más suaves y se restablezca el equilibrio rápidamente.

Estos van conectados directamente al chasis y al eje de la llanta para amortiguar la parte trasera del vehículo. Existen varios tipos de amortiguadores, aquí se presentan los dos más importantes.

1) AMORTIGUADORES DE GAS. Los amortiguadores de gas ofrecen una gran estabilidad y rigidez al vehículo, permitiéndole tomar curvas más rápidamente, estos amortiguadores son utilizados en carreras como las de gran turismo. Existen también los amortiguadores rellenos con óxido nitroso, estos ofrecen una rigidez mucho mejor que los amortiguadores de gas convencionales, pero son más frágiles y se revientan más fácilmente.

2) AMORTIGUADORES DE ACEITE. A los amortiguadores de aceite también se les llama amortiguadores hidráulicos, estos están compuestos por un aceite que se comprime fácilmente, son incluso mucho más suaves que los amortiguadores convencionales. Estos pueden también tener un control de aceite que haya en el amortiguador, con una bomba de aceite e interruptores que van de arriba hacia abajo, estos sistemas los ocupan en competencias de hidráulica.

Ya que los sistemas de resorte-amortiguador que se tienen disponibles no tienen ninguna información de la marca del fabricante o de las constantes de amortiguamiento, se tendrá que obtener esos valores por otros medios.

La constante del resorte puede ser calculada mediante una ecuación que relaciona el diámetro del alambre en espiral, el material del alambre, el número

de vueltas y el diámetro de la espiral.

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N}$$

d^4 = diámetro del alambre

G = módulo de elasticidad

D^3 = diámetro de la hélice del resorte

N = número de vueltas del resorte

3) CONSTANTE DE AMORTIGUAMIENTO. La constante de amortiguamiento se puede determinar por métodos experimentales. Uno de estos métodos consiste en colocar un peso conocido en el extremo del amortiguador y medir el tiempo que toma desde cuando este está retraído hasta que se extiende totalmente por causa del peso. Con la distancia que recorre y el tiempo, se puede obtener la velocidad promedio y con el peso se puede obtener la constante de amortiguamiento. El inconveniente que se tiene con este método es que el amortiguador se tiene que separar del resorte y para esto primero se debe comprimir el resorte hasta que llegue a una posición que permita extraer el amortiguador.

Para realizar la compresión del resorte se necesita utilizar herramientas especializadas para este trabajo ya que es extremadamente peligroso realizarlo con herramientas comunes. El resorte puede salir disparado violentamente si no se manipula con las herramientas adecuadas y puede causar severos daños a la persona que lo está realizando. Ya que no se cuenta con las herramientas adecuadas, se tomará el valor de un coeficiente de amortiguamiento de un sistema de resorte-amortiguador similar.

La constante de amortiguamiento que se utilizó para el análisis de la suspensión fue el de un vehículo marca Datsun 1200 modelo 1998. Esta constante tiene el valor de $1257 \text{ Ns}/m$. [9]

C. METODOLOGÍA.

Este módulo de megaproyecto abarca el diseño y la implementación del sistema de transmisión de potencia desde el motor eléctrico al eje motriz y la selección de los sistemas de resorte-amortiguador para la implementación de la suspensión trasera.

En lo que respecta a la transmisión de potencia desde el motor eléctrico hasta el eje motriz del vehículo, el diseño abarca la selección del paso de la cadena de rodillos más adecuado en función de soportar la exigencia del motor eléctrico en operación y la tensión que tendrá que ejercer sobre el eje para darle movimiento. Con el paso de la cadena se seleccionarán los sprockets que tengan la relación recomendada para optimizar la vida de la cadena.

Con las características de la cadena y los sprockets se realizará un análisis de esfuerzos a los que estaría sometido el eje motriz. A partir de este análisis se diseñará el eje calculando el diámetro más adecuado para soportar los esfuerzos a los que estará sometido a causa de la acción del motor y la acción de los frenos de disco. Se propondrá una geometría para el eje tomando en cuenta el espacio disponible, facilidad de ajuste y la facilidad de ensamblaje. Las cuñas que se utilizarán para la transmisión del torque al eje se calcularán basadas en el torque más crítico, que es el que ejerce el motor eléctrico.

Con la configuración del eje establecida, se seleccionarán rodamientos de bolas principalmente en función del diámetro interno de estos ya que tienen que coincidir con el diámetro del eje en el punto de apoyo. Luego se decidirá cuál de todos los diseños de rodamientos que cumplen con tener el diámetro interno requerido es adecuado para la operación del vehículo y si cumple con el requerimiento del tiempo de vida.

Para el diseño de la suspensión se considerará primordialmente el espacio que se tiene disponible para su instalación. Ya que en la parte trasera estará instalado una gran cantidad de equipo, el espacio disponible para colocar los sistemas de resorte-amortiguador es limitado. Luego de haber determinado la

posición más adecuada para la instalación de los sistemas resorte amortiguador, se analizarán los sistemas que se tenga disponible para la instalación del vehículo. Se instalará el sistema-resorte amortiguador que logre absorber la mayor cantidad de fuerza causada por un impacto.

Luego de determinar qué sistema de resorte-amortiguador será instalado en el vehículo, se analizará el comportamiento del desplazamiento de la parte trasera del vehículo para determinar por cuantos ciclos pasa el sistema antes de considerarse como estable. También se analizará la fuerza ocasionada por un impacto a causa de una irregularidad en el camino y cómo esta fuerza es disminuida gracias al sistema de suspensión.

D. CÁLCULOS

1. TRANSMISIÓN POR CADENA DE RODILLOS

a. **MOTOR ELÉCTRICO.** Se dispone de un motor que entrega 1.5 caballos de potencia a 3,600 revoluciones por minuto. El torque del motor eléctrico se puede obtener a partir de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{HP * 63025}{RPM} = \frac{1.5 * 63025}{3600} = 26.26 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

Se eligió trabajar con sprockets tipo B para que estos trabajen siempre perpendiculares a los ejes y tengan una mejor estabilidad. También para que se puedan colocar cuñas de mayor área de sección transversal y la transmisión sea más segura.

Para que el motor eléctrico no trabaje sobre cargado, se utilizará una relación de velocidades de 1:10.67. El sprocket impulsor, acoplado al motor eléctrico es de 9 dientes y el sprocket impulsado, acoplado al eje de las llantas, es de 96 dientes. Utilizando estos sprockets, la reducción de velocidad angular es:

$$m = \frac{96}{9} = 10.67$$

La eficiencia de las cadenas oscila entre el 90% y 98%, por lo que la potencia que se transmite a las ruedas se calcula suponiendo una eficiencia del 90%.

$$\eta P_1 = P_2$$

$$0.90 \cdot T_1 \omega_1 = T_2 \omega_2$$

El torque que se transmite al eje de las llantas, la velocidad angular del eje y la tensión de la cadena al mover el eje son factores importantes para el diseño de la transmisión por cadena y para el diseño del eje:

$$T_2 = 0.90 \cdot T_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} = 0.90 \cdot T_1 \cdot m = 0.90 \cdot 26.26 \cdot 10.67 = 252.17 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{m} = \frac{3600}{10.67} = 337.39 \text{ RPM}$$

Según el catálogo del proveedor “Martin Sprocket: Roller Chain Sprockets”, el diámetro de paso del sprocket número ANSI 35 de 96 dientes es de 11.461 pulgadas, por lo que la tensión de la cadena es:

$$F_T = T_2 * \frac{d_p}{2} = 252.17 * \frac{11.461}{2} = 1445.09 \text{ lb}$$

Para la transmisión por cadena se eligió una cadena y sprockets número ANSI 35. Según el catálogo del proveedor “Martin Sprocket: Sprocket Engineering Data”, la potencia nominal que puede soportar el sprocket impulsor número ANSI 35 a 3600 revoluciones por minuto es de 1.5 hp, mientras que si fuera número ANSI 25 soportaría 0.84 hp, que es un valor muy bajo para el diseño.

b. POTENCIA NOMINAL DE CADENA. Bajo las condiciones ya mencionadas, la potencia nominal que se puede transmitir con el sistema de cadena y sprocket, delimitada por las placas del eslabón de la cadena es:

$$H_1 = 0.004N_1^{1.08}n_1^{0.9}p^{(3-0.07p)} = 0.004 * (9^{1.08})(3600^{0.9})(0.375^{(3-0.07*0.375)})$$

$$H_1 = 3.50 \text{ hp}$$

Y la potencia nominal limitada por los rodillos del eslabón es:

$$H_2 = 1000 \frac{K_r N_1^{1.5} p^{0.8}}{n_1^{1.5}} = 1000 \frac{29 * (9^{1.5})(0.375^{0.8})}{3600^{1.5}}$$

$$H_2 = 1.65 \text{ hp}$$

La potencia nominal que puede soportar la cadena, delimitada por las placas del eslabón y delimitada por los rodillos, es mayor que la que entrega el motor que se instalará, por lo que el paso de la cadena y el sprocket proporciona un sistema que cumple con el factor de seguridad de 1.5 que se propuso para el diseño.

c. LONGITUD DE CADENA. Según el catálogo del proveedor “Martin Sprocket: Roller Chain Sprocket”, el diámetro exterior del sprocket de 9 dientes es de 1.260 pulgadas y el diámetro exterior del sprocket de 96 dientes es de 11.680 pulgadas, por lo que la distancia entre centros mínima que tiene que haber entre los dos sprockets es:

$$C = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{1.260 + 11.680}{2} = 6.47 \text{ in}$$

Luego de evaluar el espacio que se tiene en el vehículo, se elige una separación de 2 pulgadas entre los dientes de los sprockets para evitar interferencias. La distancia entre centros de los sprockets sería de:

$$C = 8.5 \text{ in}$$

La longitud aproximada de la cadena en pasos para el la transmisión entre los sprockets es:

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_1 + N_2)^2}{4\pi^2 C/p}$$

$$\frac{L}{p} = \frac{2 \cdot 8.5}{0.375} + \frac{9 + 96}{2} + \frac{(9 + 96)^2}{4\pi^2 \cdot 8.5/0.375} = 103 \text{ pasos}$$

Y la longitud en pies sería:

$$L = 103 \cdot 0.375 = 35.62 \text{ pulgadas} = 3.21 \text{ pies}$$

d. VELOCIDAD DE OPERACIÓN. La velocidad angular máxima a la que puede operar el sistema también es un indicador de qué tan seguro es el sistema. Esta velocidad está limitada por el roce entre el pasador y el buje.

Según Shigley, los ensayos realizados sugieren que la velocidad límite a la que puede operar el sistema es:

$$n_1 = 1000 \left[\frac{82.5}{7.95^p 1.0278^{N_1} 1.323^{F/1000}} \right]^{1/(1.59 \log(p) + 1.873)}$$

$$n_1 = 1000 \left[\frac{82.5}{(7.95)^{0.375} (1.0278)^9 (1.323)^{1445.09/1000}} \right]^{1/(1.59 \log(0.375) + 1.873)}$$

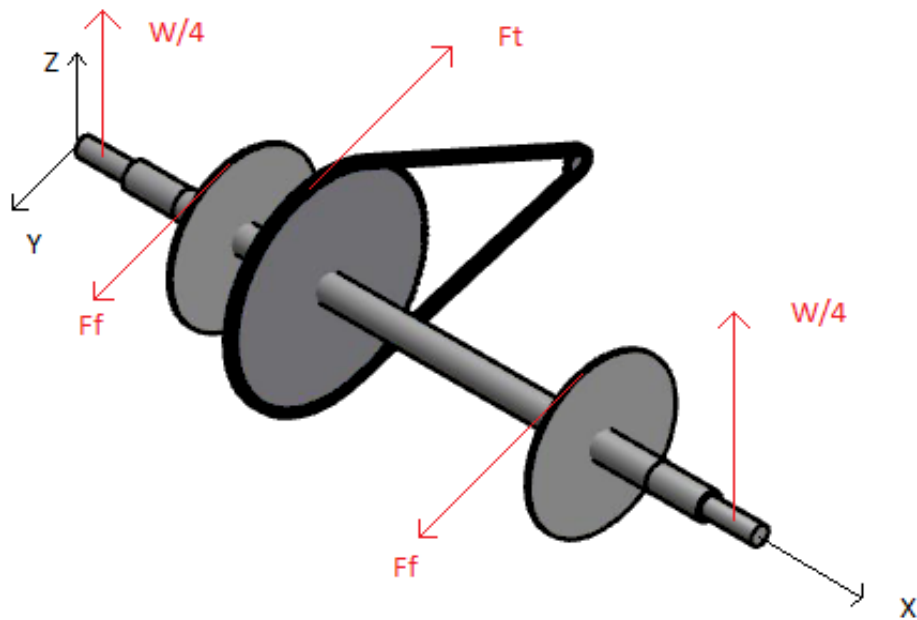
$$n_1 = 12126.8 \text{ RPM}$$

Este resultado es mucho mayor a la velocidad con la que opera el motor, por lo que el diseño es seguro bajo ese criterio.

2. DISEÑO DEL EJE

a. **PARÁMETROS DE DISEÑO.** Para realizar el análisis de fuerzas en el eje del vehículo, se supone que este pesa 600 libras, tomando en cuenta al conductor. Por ser un vehículo pequeño, se supone que el peso se distribuye equitativamente en las cuatro llantas. El diagrama de que se muestra en la Figura 9, se ilustran las fuerzas que se toman en cuenta para realizar el diseño del eje del vehículo. Se toma en cuenta el torque que provocan los frenos, la tensión de la cadena y la fuerza en las llantas por el peso del vehículo.

Figura 9: Diagrama de cuerpo libre del eje



W = peso del vehículo

F_t = tensión de la cadena provocada por el motor eléctrico

F_f = fuerza provocada por los frenos

Figura 10: Fuerzas en el eje en plano X-Z

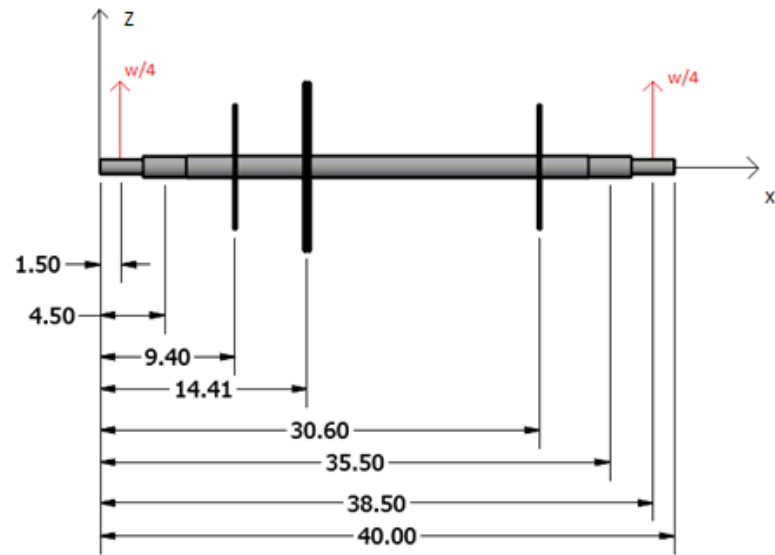
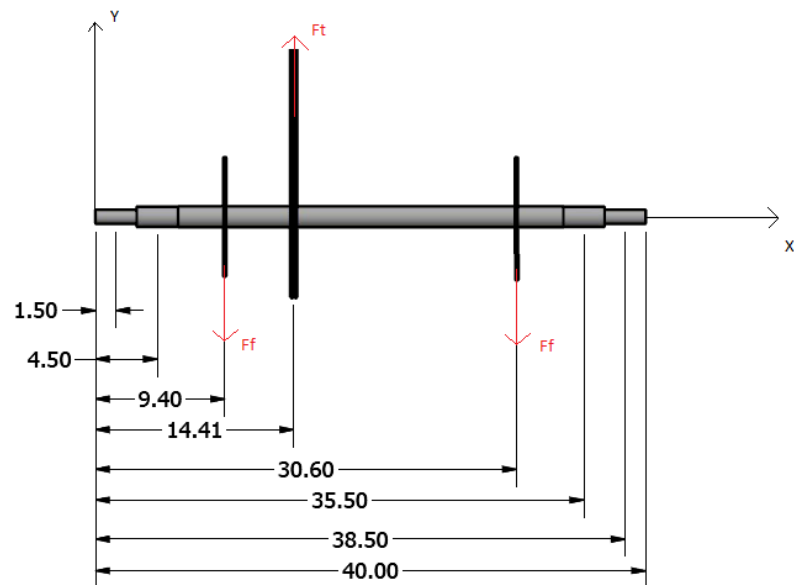


Figura 11: Fuerzas en el eje en plano X-Y



Para determinar cuál es el punto más crítico en el eje, se analiza por separado los dos planos X-Z y X-Y. Al realizar los diagramas de corte y momento en ambos planos se puede determinar qué punto es el que estará sometido a mayor carga y a partir de ese punto se calcula el diámetro del eje.

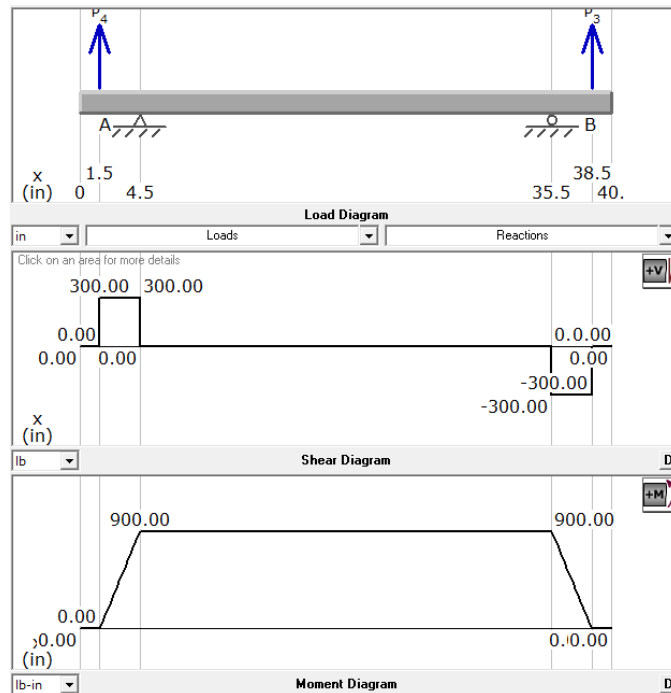
Se toma las fuerzas de la cadena y los frenos en el mismo análisis aunque la combinación de estas dos fuerzas no sea una condición de operación real del vehículo. No se aplicarán los frenos a fondo y acelerará al máximo el vehículo en una trayectoria regular, pero analizar el sistema de esta manera contribuye a que el diseño sea más seguro.

Los apoyos se toman en la posición en donde estarán colocada las chumaceras, que es a 4.50 pulgadas desde el origen y la otra a 35.50 pulgadas del origen. Luego de evaluar el espacio se decidió que la longitud del eje sea de 40 pulgadas.

La fuerza de frenado $F_f = 21.4 \text{ lbf}$ fue proporcionada por el compañero a cargo del diseño del sistema de frenado.

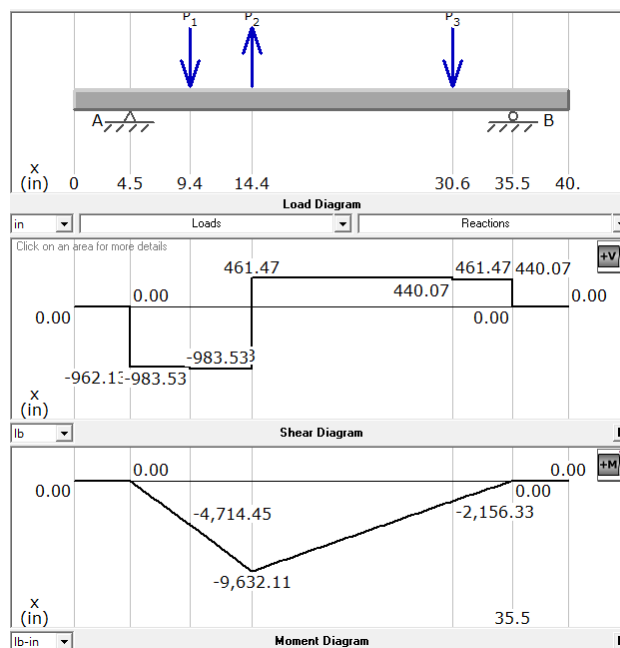
b. ANÁLISIS DE FUERZAS. El análisis de fuerzas en el plano X-Z muestra el siguiente resultado

Figura 12: Diagrama de corte y momento para el plano X-Z



El análisis de fuerzas en el plano X-Y muestra el siguiente resultado:

Figura 13: Diagrama de corte y momento para el plano X-Y



Como se puede observar en los diagramas de momento, el punto más crítico es a 14.4 pulgadas, ya que en ese punto el momento flexionante es mayor. Este punto es donde está ubicado el sprocket impulsado.

Para tomar el momento en ambos planos, se calcula el momento combinado:

$$M_{combinado} = M_a = \sqrt{(-9632.11)^2 + (900)^2} = 9674.07 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

Ya que el eje está girando, el momento combinado constante creará un momento completamente reversible. El momento flexionante que causa tensión en una sección transversal del eje y compresión en la otra, se alterna por el giro del eje y ninguna sección transversal del eje estará únicamente a compresión o a tensión, por lo que a este momento se le llama alternante. El torque lo provocará la tensión de la cadena, este es constante en todo el eje, por lo que se le denomina torque medio.

c. CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS. Los factores de concentración de esfuerzo por flexión y torsión, K_f y K_{fs} , se obtienen de las ecuaciones:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \qquad K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1)$$

Para los cálculos preliminares se utiliza un radio del filete de 2 milímetros para cualquier cambio de diámetro en el eje, y se empieza a calcular suponiendo que el diámetro es de una pulgada. El material es un acero al carbono 1045 estirado en frío con un esfuerzo último a la tensión $S_{ut} = 107 \text{ ksi}$ y una dureza Brinell de $BHN = 180$, como se muestra en la Tabla 39 del anexo. También se supone que la reducción máxima que habrá entre secciones del eje será de 1.5.

Entonces los factores de sensibilidad y de esfuerzo que se obtienen de las Figuras 232, 233, 234 y 235 del anexo son:

$$q = 0.81$$

$$q_{cortante} = 0.92$$

$$K_t = 1.85$$

$$K_{ts} = 1.55$$

Los factores de concentración de esfuerzo para el eje se calculan:

$$K_f = 1 + 0.81(1.85 - 1) \qquad K_{fs} = 1 + 0.92(1.55 - 1)$$

$$K_f = 1.69 \qquad K_{fs} = 1.51$$

Según la Tabla 39 de propiedades de los materiales que se encuentra en el anexo, para el acero al carbono AISI 1045 estirado en frío, la resistencia a la tensión es de 91 kpsi y el esfuerzo de fluencia es de 77 kpsi. Entonces, la resistencia a la fatiga es la mitad del esfuerzo de tensión.

$$S'_e = 0.5S_{ut} \quad \text{si } S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi}$$

$$S'_e = 0.5 \cdot 91 = 45.5 \text{ kpsi}$$

Para tomar en cuenta los factores que modifican la resistencia a la fatiga se utiliza la ecuación de Marin:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Para el diseño del eje se tomarán en cuenta varios factores que modifican la resistencia a la fatiga. El material, la manufactura, el entorno, el tamaño, la carga, la confiabilidad y los efectos varios son los factores que se utilizarán para realizar el análisis.

El factor de superficie se puede calcular con la ecuación mostrada a continuación, en donde los factores a y b se obtienen de la Tabla 40 que se encuentra en el anexo. El acabado superficial del eje se tomará como esmerilado.

$$k_a = a S_{ut}^b = 1.34 * (91)^{-0.085} = 0.913$$

El factor de tamaño se obtiene de una ecuación que relaciona únicamente el diámetro, que se toma como 1 pulgada para iniciar los cálculos.

$$k_b = \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = \left(\frac{1}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.879$$

El factor de carga para flexión se toma de la Tabla 41 del anexo como la unidad ya que está sometido más a flexión.

$$k_c = 1$$

El factor de temperatura se obtiene tomando como temperatura de operación 20° centígrados, temperatura ambiente. Este factor se obtiene de la Tabla 42 del anexo.

$$k_d = 1$$

El factor de confiabilidad se obtiene al definir que el diseño tendrá una confiabilidad del 90%. Este factor se encuentra en la Tabla 41 del anexo.

$$k_e = 0.897$$

El factor de efectos varios se tomará como 1 ya que el eje no está sometido a condiciones extremas.

$$k_f = 1$$

Con estos factores se puede calcular el límite de resistencia a la fatiga en el punto crítico del eje:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e = 0.913 * 0.879 * 1 * 1 * 0.897 * 1 * 45.5 = 32.10 \text{ kpsi}$$

d. CÁLCULO DEL DIÁMETRO. Para calcular el diámetro en el punto más crítico del eje se utiliza el criterio de Energía de Distorsión de Goodman, ya que este es un criterio conservador que hará que el diseño sea más seguro.

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \left[\frac{1}{S_e} 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{S_{ut}} 4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

La ecuación anterior se puede reducir ya que el torque alternante T_a y el momento medio M_m son cero, por lo que la ecuación se reduce a:

$$d = \left[\frac{16n}{\pi} \left(\frac{2K_f M_a}{S_e} + \frac{\sqrt{3} K_{fs} T_m}{S_{ut}} \right) \right]^{1/3}$$

Utilizando un factor de seguridad de 1.5 para cumplir con el factor de seguridad propuesto para el diseño se calcula que el diámetro del eje debe ser:

$$d = \left[\frac{16 \cdot 1.5}{\pi} \left(\frac{2 \cdot 1.69 \cdot 9674.04}{32100} + \frac{\sqrt{3} \cdot 1.51 \cdot 252.17}{91000} \right) \right]^{1/3} = 1.98 \text{ pulgadas}$$

Al analizar este resultado, se ve que el diámetro requerido para el eje es mayor al que se fabricó anteriormente, de diámetro de 1.5 pulgadas. Se recalculan los factores de concentración de esfuerzo y de resistencia a la fatiga para un diámetro de 1.5 pulgadas.

Se calcula el factor de seguridad para el diámetro de 1.5 pulgadas para analizar si el factor de seguridad es aceptable. El análisis se hace nuevamente considerando que la reducción máxima entre diámetros es de 1.5 pulgadas.

$$n = \frac{\pi d^3}{16} \left(\frac{2K_f M_a}{S_e} + \frac{\sqrt{3} K_{fs} T_m}{S_{ut}} \right)^{-1}$$

$$q = 0.81$$

$$q_{cortante} = 0.92$$

$$K_t = 1.85$$

$$K_{ts} = 1.55$$

$$K_f = 1.69 \quad K_{fs} = 1.51$$

$$k_a = 0.913$$

$$k_b = 0.842$$

$$k_c = 1$$

$$k_d = 1$$

$$k_e = 0.897$$

$$k_f = 1$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e = 0.913 * 0.841 * 1 * 1 * 0.897 * 1 * 45.5 = 31.34 \text{ kpsi}$$

$$n = \frac{\pi 1.5^3}{16} \left(\frac{2 * 1.69 * 9674.04}{31340} + \frac{\sqrt{3} * 1.51 * 252.17}{91000} \right)^{-1} = 0.63$$

Ya que este factor de seguridad es menor que el factor propuesto para el diseño de 1.5, no se confirma que un eje de 1.5 pulgadas de diámetro sea satisfactorio. El eje debe ser de 2 pulgadas en el punto más crítico, que es donde está ubicado el sprocket impulsado. El resto del eje no está sometido a esfuerzos tan grandes como en el punto crítico, por lo que el diámetro puede ser menor.

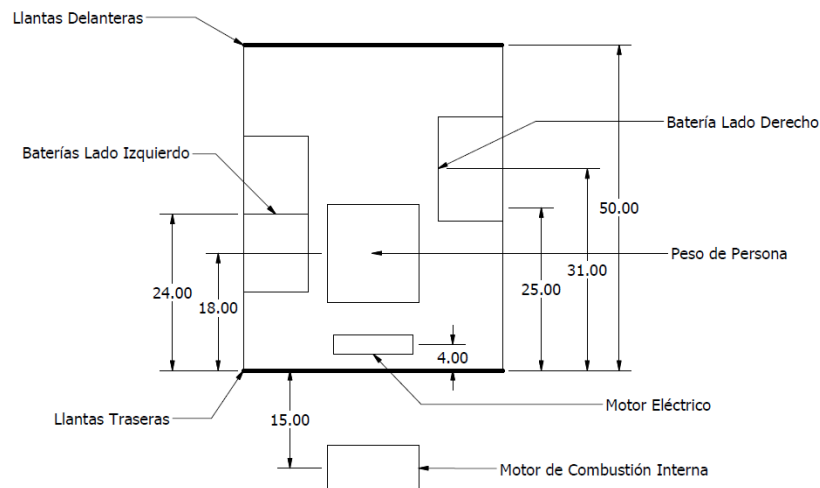
Para una mejor estimación de los esfuerzos causados en el eje del vehículo a causa del peso de este, se puede calcular estimar las reacciones que se tienen en las llantas conociendo la distribución final de los elementos instalados.

Para calcular el peso al que están sometidos los apoyos del eje trasero se calculó la posición vertical del centro de masa de la distribución de los componentes del vehículo.

Al dividir la sumatoria del producto de la ubicación de los componentes con su respectivo peso con la sumatoria de los pesos, se obtiene la ubicación del centro de masa de los componentes. Se tomó como punto de referencia el eje al medir las distancias en donde están colocados los diferentes componentes.

La Figura 14 muestra la distribución de los elementos. Las llantas delanteras y las llantas traseras se muestran en líneas más gruesas. Las medidas están en pulgadas.

Figura 14: Distribución de elementos del vehículo



Las medidas de la posición al centro del elemento, tomadas desde el eje trasero se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2: Cálculo para el centro de masa

Elemento	$m_i (lb)$	$y_i (in)$	$m_i y_i$
Batería lado derecho	50	31	1550
Baterías lado izquierdo	75	24	1800
Motor eléctrico & alternador	25	4	100
Motor de combustión	50	-15	-750
Peso de la persona	200	18	3600
Peso del chasis	200	25	5000
$\sum m_i$	600	$\sum y_i m_i$	11300

Para calcular la posición vertical del centro de masa se utiliza la siguiente ecuación:

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i m_i}{\sum m_i}$$

De la tabla se obtienen los siguientes resultados:

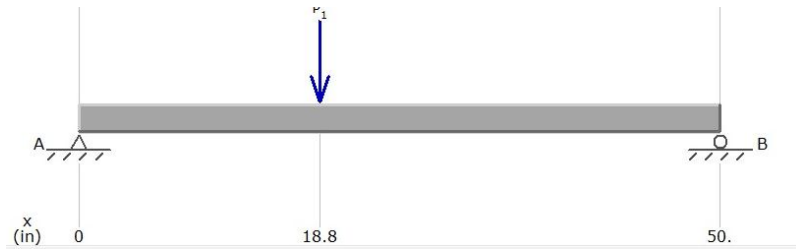
$$\sum y_i m_i = 11300 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

$$\sum m_i = 600 \text{ lb}$$

El centro de masa resulta:

$$\bar{y} = \frac{11300 \text{ lb} \cdot \text{in}}{600 \text{ lb}} = 18.83 \text{ in}$$

Figura 15: Modelo para calcular las reacciones



Se supone que la carga total se va a concentrar en el centro de masa y se toma como una viga entre las llantas para calcular las reacciones. El apoyo A representa el eje de las llantas y el apoyo B representa las llantas delanteras.

La sumatoria de fuerzas en el eje Y resulta:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B = 600 \text{ lb}$$

La sumatoria de momentos en el punto A, haciendo positivo el momento en sentido anti horario, resulta:

$$\sum M_A = 0$$

$$50 \cdot R_B = 18.83 \cdot 600 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

Y las reacciones en las llantas son:

$$R_B = 225.96 \text{ lb}$$

$$R_A = 374.04 \text{ lb}$$

3. SELECCIÓN DE COJINETES. La clasificación C_{10} del catálogo de SKF para cojinetes de bolas con una confiabilidad mayor al 90% es

$$C_{10} = F_D \left[\frac{x_D}{(x_o + (\theta - x_o)(1 - R_D)^{1/b})} \right]^{1/a}$$

$x_o = 0.02$ valor mínimo de la variante para una confiabilidad del 90%

$\theta - x_o = 4.439$ parámetro característico para una confiabilidad del 90%

$b = 1.483$ parámetro de la forma que controla el sesgo para una confiabilidad del 90%

$a = 3$ para cojinetes de bolas

$R_D =$ confiabilidad

La razón entre la vida que se desea para el cojinete y la vida nominal del fabricante se obtiene de la siguiente ecuación:

$$x_D = \frac{60L_D n_D}{60L_R n_R}$$

La vida nominal de los cojinetes SKF es de 10^6 ciclos y ya que se desea que la vida de los cojinetes sea de 5,000 horas para soportar un eje que gira a 337 revoluciones por minuto, la razón entre la vida que se desea para el cojinete y la vida nominal es:

$$x_D = \frac{60 * 5000 * 337.39}{10^6} = 101.21$$

$$C_{10} = F_D \left[\frac{101.21}{0.02 + (4.439)(1 - 90)^{1/1.483}} \right]^{1/3} = F_D 2.89$$

Ya que la fuerza de tensión de la cadena es de 1445 *lbf*, la clasificación del catálogo de SKF es:

$$C_{10} = 1445 * 2.89 = 4188.9 \text{ lbf}$$

Los cojinetes de la chumacera de diámetro interno de $1 \frac{7}{16}$ pulgadas que soportan el eje tienen una clasificación mayor a 4188.9 *lbf*, por lo que son adecuadas para el sistema. La carga dinámica que soporta el eje se muestra en la Figura 24 del anexo.

4. CÁLCULO DE CUÑAS. Ya que las cuñas son del mismo material del eje, tienen el mismo esfuerzo de fluencia de 77 kpsi, como se muestra en la Tabla 39 del anexo. El largo de la cuña lo delimita el ancho del sprocket, que es de 2 pulgadas. Según la Tabla 44 del anexo, una cuña adecuada es de dimensiones de $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ de pulgada, por lo que la altura y el ancho de la cuña son ambos de 0.25 pulgadas. Se calculará para la cuña más crítica que es la del sprocket impulsado, donde el diámetro del eje es de 1.5 pulgadas y el torque es de 252.17 lbf·in.

El esfuerzo en corte es:

$$\tau = \frac{2T}{DLw} = \frac{2 \times 252.17}{1.5 \times 2 \times 0.25} = 378.25 \text{ psi}$$

El esfuerzo de aplastamiento es:

$$\sigma = \frac{4T}{DLh} = \frac{4 \times 252.17}{1.5 \times 2 \times 0.25} = 756.51 \text{ psi}$$

Con este resultado se observa que ambos esfuerzos son mucho menores que el esfuerzo de fluencia del material.

5. ANÁLISIS DE LA SUSPENSIÓN

a. CONSTANTE DE RIGIDEZ. El coeficiente de amortiguamiento de los amortiguadores que se utilizarán es de 1257 N s/m . Las constantes de los resortes para cada sistema de resorte amortiguador se calculan con la ecuación:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N}$$

Las mediciones de los datos necesarios para los dos sistemas resorte-amortiguador disponible se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3: Mediciones de sistemas de resorte-amortiguador

	Sistema 1	Sistema 2
Diámetro del Alambre	0.007 metros	0.008 metros
Diámetro de la Hélice	0.0495 metros	0.06 metros
Número de vueltas	15	20

El tipo de resorte que se supuso para obtener el módulo de elasticidad fue un A227 o resorte estirado duro como se puede observar en la Tabla 43 del anexo. El valor del módulo de rigidez es de 78.6 GPa, por lo que las constantes de rigidez resultan:

Sistema 1:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N} = \frac{0.007^4 78.6 \times 10^9}{8 \times 0.0495^3 \times 15} = 12.96 \text{ kN/m}$$

Sistema 2:

$$k = \frac{0.008^4 78.6 \times 10^9}{8 \times 0.06^3 \times 20} = 9.31 \text{ kN/m}$$

El factor de amortiguamiento para el primer sistema de resorte-amortiguador acoplado a la masa de 136.07 kilogramos produce el siguiente resultado:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} = \frac{1257}{2\sqrt{12960 \times 136.07}} = 0.47$$

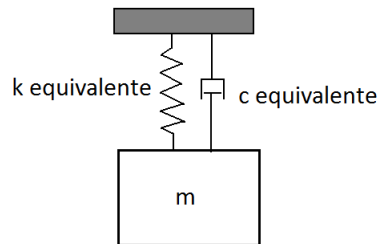
El segundo sistema de resorte-amortiguamiento produce el siguiente resultado:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} = \frac{1257}{2\sqrt{9310 \times 136.07}} = 0.55$$

Ya que el resultado del factor de amortiguamiento para el primer sistema de resorte-amortiguamiento es más cercano al rango definido para absorber la mayor cantidad de fuerza de impacto, se trabajará con este para el resto del análisis.

El sistema mostrado en la Figura 15 se puede reducir mediante la combinación de los resortes y amortiguadores, resultando en el sistema ilustrado en la Figura 16.

Figura 16: Esquema vibratorio equivalente



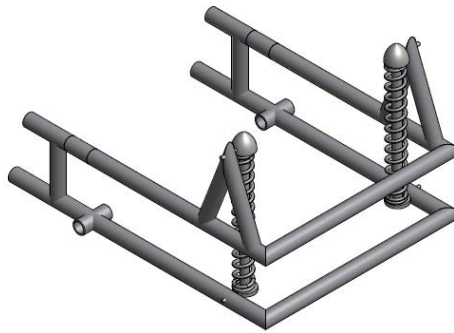
La constante de rigidez equivalente y el coeficiente de amortiguamiento equivalente son:

$$k_e = k_1 + k_2 = 12.96 + 12.96 = 25.92 \text{ kN/m}$$

$$c_e = c_1 + c_2 = 1257 + 1257 = 2514 \text{ Ns/m}$$

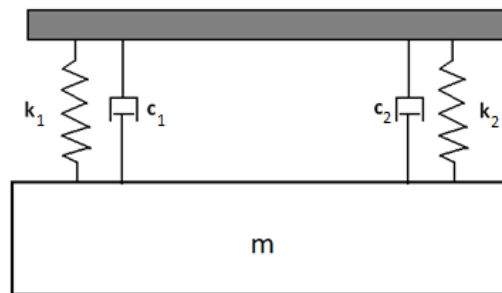
b. ESQUEMA VIBRATORIO. Una de las mayores limitantes para diseñar el sistema de suspensión trasera es el espacio que se tiene disponible para instalar los sistemas resorte-amortiguador. En la Figura 17 se muestra un esquema de la configuración de la suspensión trasera. Se decidió realizar esa configuración ya que el chasis requería pocas modificaciones y ya que este no fue diseñado ni fabricado por el grupo, lo mejor fue que sufriera pocas modificaciones.

Figura 17: Esquema de la configuración de la suspensión trasera



En la Figura 18 se muestra el esquema del sistema vibratorio de la masa acoplada al resorte-amortiguador. La parte fija representa el chasis y la masa representa la parte móvil que contiene al eje, motor eléctrico, motor de combustión, alternador, sistema de frenos y alternador. Esta masa tiene un valor de 136.07 kilogramos ya que se supuso que la distribución de masa del vehículo es equitativa y la masa total es de 272.15 kilogramos.

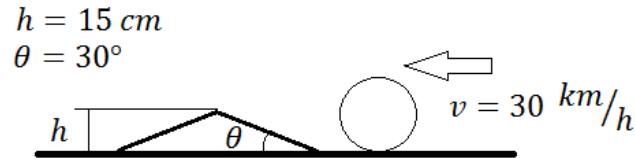
Figura 18: Esquema vibratorio de la suspensión



Uno de los objetivos al diseñar la suspensión es que el sistema absorba la mayor cantidad de fuerza causada por un impacto y esto se logra cuando el factor de amortiguamiento está dentro del rango de 0.2 y 0.35. Ya que se debe trabajar con el equipo que puede proporcionar la universidad, se elegirá la opción que más se acerque a esta condición y luego se trabajará con este para el resto del análisis de la suspensión.

c. FUERZA DE IMPACTO. La fuerza de impacto que se utilizará para el análisis de la suspensión será la causada por una irregularidad en el camino modelada como se muestra en la Figura 19:

Figura 19: Diagrama para el cálculo de la aceleración vertical



Luego de impactar el obstáculo, la velocidad se dividirá en componentes con una resultante con un ángulo de 30° . Se supone que la velocidad con la que impactara el obstáculo con las llantas traseras es de 30 km/h ya que la velocidad del vehículo no es muy alta.

$$\tan(\theta) = \frac{V_y}{V_x} \quad V_y = \tan(\theta) V_x$$

$$V_y = \tan(30) \times 30 = 17.32 \text{ km/h} = 4.81 \text{ m/s}$$

Se puede obtener la aceleración vertical mediante las ecuaciones de cinemática:

$$V_f^2 = V_i^2 + 2a_y h \quad a_y = \frac{V_f^2 - V_i^2}{2h}$$

$$a_y = \frac{4.81^2 - 0}{2 \times 0.15} = 77.12 \text{ m/s}^2$$

La fuerza que sufre el sistema al someterse a esa aceleración resulta entonces en:

$$F_y = m a_y = 77.12 \times 136.07 = 10493.80 \text{ N}$$

Esta fuerza se utilizará como la fuerza impacto que sufre el sistema de suspensión que aísla de las vibraciones al equipo instalado en la parte trasera del vehículo.

La ecuación que describe el movimiento del sistema de suspensión luego del impacto describe también el movimiento que tendrá todo lo que esté instalado en la parte trasera del vehículo, por lo que se utilizará una gráfica de esta ecuación para analizar el comportamiento después del impacto. También se analizará la gráfica de la ecuación que describe la fuerza transmitida al chasis. Se analizarán las gráficas en forma adimensional debido a que se desconoce la precarga que tienen los amortiguadores y la precarga que ejerce el peso del vehículo sobre ellos.

La frecuencia natural y la frecuencia amortiguada se calculan para el sistema:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{25920}{136.07}} = 13.80 \text{ rad/s}$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} = 13.80 \times \sqrt{1 - 0.47^2} = 12.18 \text{ rad/s}$$

La ecuación que describe el movimiento resulta:

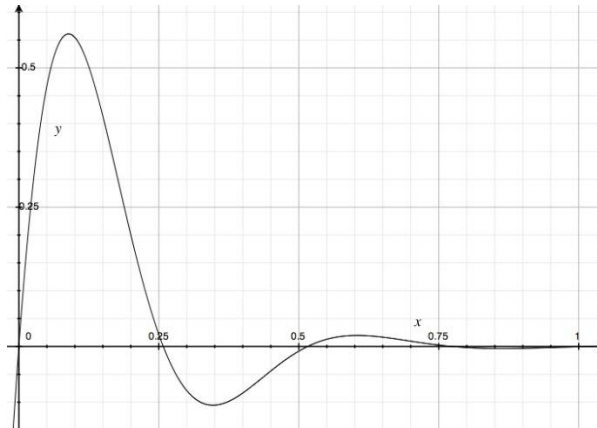
$$\frac{y(t)}{f_o/m\omega_n} = \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin(\sqrt{1 - \zeta^2}\omega_n t) = \frac{e^{-0.47 \times 13.80 t}}{\sqrt{1 - 0.47^2}} \sin(12.18 t)$$

$$\frac{y(t)}{f_o/m\omega_n} = 1.13 e^{-6.48 t} \sin(12.18 t)$$

d. COMPORTAMIENTO DE LA SUSPENSIÓN LUEGO DEL IMPACTO.

La gráfica de la función que describe el movimiento luego de que las llantas traseras hayan recibido un impacto muestra la rapidez con la que el sistema vuelve al equilibrio luego de un impacto de gran magnitud.

Figura 20: Comportamiento del desplazamiento de la suspensión



La ecuación que describe la fuerza resulta:

$$\frac{F_b}{f_o \omega_n} = \frac{1}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t + \psi)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{2\zeta \sqrt{1 - \zeta^2}}{1 - 2\zeta^2} \right)$$

$$\frac{F_b}{f_o \omega_n} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.47^2}} e^{-0.47 \times 13.80 t} \sin(12.18 t + \psi)$$

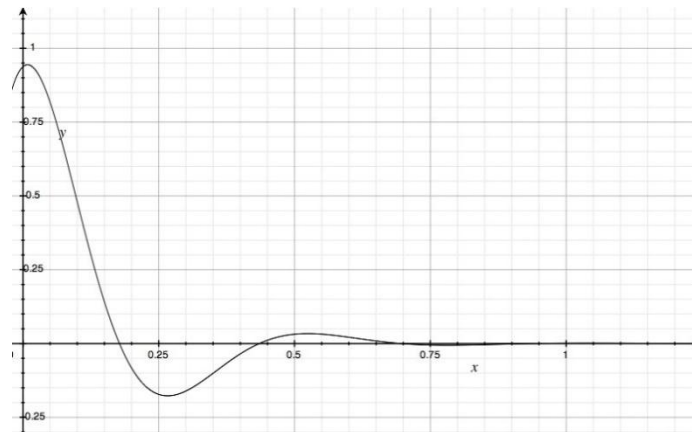
$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{2 \times 0.47 \sqrt{1 - 0.47^2}}{1 - 2 \times 0.47^2} \right) = 0.978 \text{ rad}$$

La función que describe la fuerza que se transfiere hacia el chasis resulta entonces:

$$\frac{F_b}{f_o \omega_n} = 1.13 e^{-6.48 t} \sin(12.18 t + 0.978)$$

La gráfica que describe el comportamiento de la fuerza luego de que el sistema sufrió un impacto es:

Figura 21: Comportamiento de la fuerza transmitida al chasis



e. PLAN DE MANTENIMIENTO. Ya que el vehículo no tendrá un uso constante, no se recomienda utilizar las horas de operación para definir las frecuencias de las actividades. Se utilizará el kilometraje que tenga el vehículo para definir la frecuencia de las actividades de mantenimiento.

1) SISTEMA DE TRANSMISIÓN. Las actividades de mantenimiento que se deben realizar para que el sistema de transmisión se mantenga operando en óptimas condiciones son: la lubricación de las chumaceras, lubricación de la cadena, revisión de los eslabones de la cadena, lubricación del eje y revisión de los sprockets.

2) LUBRICACIÓN DE CHUMACERAS. Las chumaceras instaladas cuentan con una grasera en donde se puede bombear grasa y lubricar los rodamientos. Para evitar que estos sufran desgaste antes de tiempo se debe seleccionar la grasa adecuada, el método de aplicación, la cantidad de grasa necesaria y la frecuencia con que se debe lubricar.

Según la Figura 21 las condiciones de temperatura, velocidad y carga de operación son medias, por lo que en la Figura 240 del anexo, el tipo grasa recomendada para los rodamientos instalados en la chumacera del equipo es la LGMT 2, marca SKF. El método de aplicación debe ser con una bomba manual de grasa, ya que no es necesario tener un sistema automático de lubricación.

La frecuencia de lubricación se puede determinar utilizando la Figura 241 que se muestra en el anexo. Esta muestra la frecuencia de lubricación en función de la velocidad de giro en revoluciones por minuto y el diámetro del eje. La velocidad máxima a la que gira el eje es de 337 revoluciones por minuto y el diámetro del eje en donde está el rodamiento es de $1 \frac{7}{16}$ pulgadas, que son aproximadamente 37 milímetros. Bajo estas condiciones la frecuencia de lubricación sugerida por la gráfica es aproximadamente 27,500 horas. Este tiempo sugerido es demasiado alto y ya que el vehículo no estará en operación constantemente, la grasa puede perder sus propiedades lubricantes al secarse, por lo que se recomienda bombearle grasa a los rodamientos cuando se le haga mantenimiento a la cadena y a los sprockets. Por ser un rodamiento pequeño, con un bombazo de grasa que se le aplique a cada rodamiento es suficiente.

3) LIMPIEZA Y LUBRICACIÓN DE CADENA. Es de suma importancia que la cadena esté lubricada para su óptimo funcionamiento. Si esta trabaja sin lubricación, fallará mucho antes de tiempo por la acción del desgaste. Antes de lubricar la cadena, esta se debe limpiar para eliminar los residuos del lubricante que puedan quedar. Luego de la limpieza se debe aplicar aceite lubricante. El aceite lubricante que se propone utilizar es el advance chain ultra aerosol de marca shell. Se eligió este lubricante en aerosol ya que es de fácil aplicación y tiene propiedades anti desgaste y anti corrosivas. Las características de este lubricante se muestran en los anexos. Ya que la cadena opera a la intemperie, la limpieza y lubricación de esta se debe realizar cada 100 kilómetros que recorra el vehículo.

4) REVISIÓN DE ESLABONES. La revisión de los eslabones consiste únicamente en una inspección visual de estos, revisando los puntos donde sufre más desgaste, que es en las placas de cada eslabón y los rodillos. Con esta revisión previa se puede predecir una falla y tomar acciones, evitando que esta ocurra cuando el vehículo esté en operación. Esta revisión se debe realizar cada 100 kilómetros.

5) LUBRICACIÓN DEL EJE. La lubricación del eje se debe realizar ya que el material del que está fabricado no tiene propiedades que lo protegen de la oxidación. Para protegerlo del medio ambiente es necesario aplicar una capa delgada de aceite con una brocha en todos los lugares en donde el eje esté expuesto. Esta lubricación se debe realizar junto con la limpieza y lubricación de la cadena.

6) REVISIÓN DE SPROCKETS. Los sprockets deben tener una inspección visual cada vez que se lubrica la cadena y el eje. Esta inspección tiene como fin el identificar cuando un sprocket esté muy gastado y prever su cambio antes de que este falle.

f. SISTEMA DE SUSPENSIÓN. Es importante que los sistemas de resorte-amortiguador reciban mantenimiento para que siempre funcionen bajo especificaciones. El mantenimiento que se le debe realizar es la revisión de sellos y empaques del pistón y el cilindro. Para esto es necesario remover el resorte y como ya se discutió, esto no puede realizarse si no se tienen las herramientas adecuadas. Esta revisión debería realizarse aproximadamente cuando el vehículo haya recorrido 400 kilómetros, ya que las piezas que se deben revisar están aisladas del ambiente.

E. RESULTADOS

Luego de fabricar las piezas necesarias para montar la nueva transmisión en el vehículo, se procedió a la instalación y ajustes.

Los sprockets del sistema de transmisión se muestran en la Figura 22:

Figura 22: Sprockets del sistema de transmisión



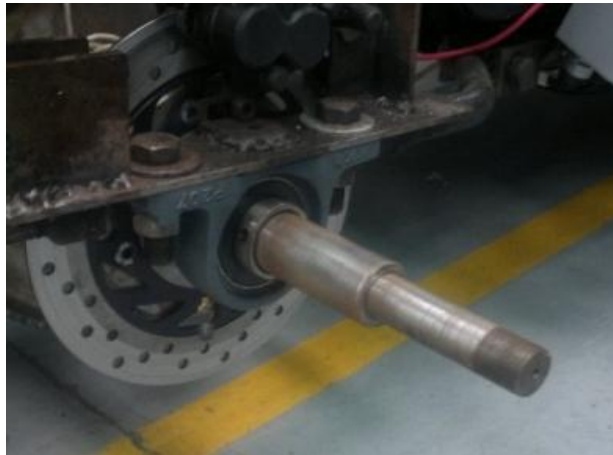
El eje con el sprocket impulsado, los frenos de disco y el freno de mano se muestran en la Figura 23:

Figura 23: Eje instalado con todos sus componentes



Las chumaceras con los cojinetes instalados tienen las especificaciones que se muestran en la Figura 238 del anexo. Los que se encuentran instalados en el vehículo actualmente se muestran en la Figura 24:

Figura 24: Chumaceras instaladas en el vehículo



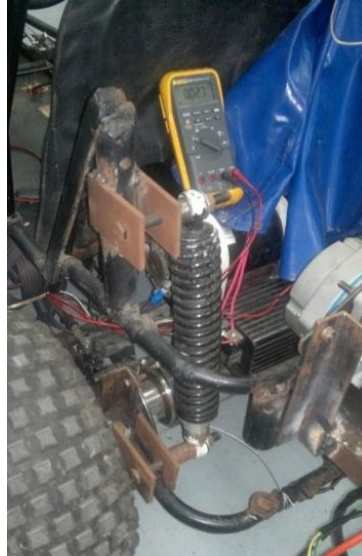
Los sistemas de resorte-amortiguador se muestran en la Figura 25:

Figura 25: Sistema resorte-amortiguador instalado en el vehículo



Las imágenes del sistema completamente instalado se muestran en la Figura 26:

Figura 26: Sistema completamente instalado



F. DISCUSIÓN

Para el diseño de la transmisión se realizaron varias suposiciones para poder realizar los cálculos. Se supuso que este el peso total del vehículo era de 600 libras, tomando en cuenta al conductor. Por ser un vehículo pequeño, se supuso que el peso se distribuye equitativamente en las cuatro llantas.

Se eligió trabajar con sprockets tipo B para que no exista la posibilidad de que estos no trabajen perpendiculares a los ejes y tengan una mejor estabilidad. También se utilizó este tipo de sprocket para que se puedan colocar cuñas de mayor área de sección transversal y la transmisión sea más segura.

Para el diseño de la transmisión de potencia al eje de las llantas, primero se realizó todo el análisis para un sprocket impulsor de 17 dientes; ya que este es el número de dientes mínimo que se debe utilizar para no comprometer la vida de la cadena y evitar que esta falle por desgaste antes de tiempo. Para el sprocket impulsor de decidió que fuera de 96 dientes resultando en una relación

de 5.64:1, ya que las transmisiones más eficaces tienen relaciones de velocidad de hasta 6:1.

Cuando se realizaron las primeras pruebas con esta relación de reducción, se vio que el motor eléctrico demandaba demasiada corriente de las baterías. Si se le exige mucho al motor eléctrico, la corriente que deben proporcionar las baterías puede llegar a ser demasiado alta. Si esto sucede, se corre el riesgo de sobrecalentar el motor y que este resulte quemado. Por esta razón se decidió utilizar una relación de reducción más alta y tomar como elemento de sacrificio la cadena de la transmisión. El tener una relación más alta de 6:1 es posible, sin embargo se sacrifica la vida útil de la cadena, pero el motor eléctrico es un elemento mucho más valioso que la cadena, por lo que se justifica que la relación de transmisión sea más alta.

Se decidió instalar un sprocket de 9 dientes en el motor para tener una relación de 1:10.67 en lugar de una de 6:1 que lograra movilizar el vehículo trabajando en un punto donde no haya peligro de quemar el motor. Se utilizó el mismo sprocket impulsor con el que se realizó el análisis anterior.

Para el análisis de los esfuerzos en el eje se supuso el caso en el que el motor produce una tensión máxima en la cadena y que al mismo tiempo los frenos iban a ser accionados. Esta suposición se realizó para garantizar que el diseño del eje fuera más seguro.

El eje se fabricó antes de que fuera posible realizar las pruebas de desplazamiento el vehículo y todo el análisis estaba basado en la relación de reducción inicial de 5.64:1 y en este caso el diámetro que debía tener el eje en su punto más crítico, con un factor de seguridad de 1.5, era de 1 ½ pulgadas. Luego se fabricó e instaló el eje con estas especificaciones y se dio inicio a las pruebas; fue allí donde surgió el problema de la demanda excesiva de corriente del motor y se tuvo que reducir el tamaño del sprocket impulsor.

Ya que se realizó el análisis para la condición más crítica de funcionamiento, que es con la tensión máxima de la cadena y al mismo tiempo aplicar los frenos,

y que es muy poco probable que el vehículo llegue a operar en esas condiciones, se permite un factor de seguridad debajo del requerimiento.

El eje que tendría que estar instalado, calculado bajo las mismas suposiciones de operación, debería tener 2 pulgadas en el punto más crítico, que es donde está instalado el sprocket impulsado. Se tuvo que sacrificar el factor de seguridad del eje, resultando este de 0.63, para proteger al motor de demandar una corriente muy alta de las baterías y que por eso haya resultado quemado. El resto del eje no está sometido a esfuerzos tan grandes como en el punto crítico, por lo que el diámetro puede ser menor. El esfuerzo al que está sometido la cuña en cortante fue de 378.25 psi y en aplastamiento es de 756.51 psi, que son mucho menores que el esfuerzo de fluencia del material con el que están fabricadas.

Una de las mayores limitantes que se tuvo trabajar en el sistema de suspensión trasera fue el espacio que se tiene disponible para instalar los sistemas resorte-amortiguador, por lo que se trabajó en función de este.

Teniendo en mente que para que los elementos de la transmisión y otros sensores que estén ubicados en el vehículo tengan una vida más larga y estén operando en el punto óptimo, se requiere que estos estén bajo condiciones estables. Uno de los factores externos que puede causar que los elementos no trabajen adecuadamente son las vibraciones transmitidas al chasis del vehículo.

En la parte trasera se encuentran unos de los elementos más importantes del vehículo, como lo son los frenos, el eje motriz, el motor eléctrico, el motor de combustión interna y el alternador. Por lo que se construyó únicamente un sistema de suspensión trasera para aislar la vibración excesiva que un terreno irregular puede llegar a causar. Esto puede ser la razón de problemas de desajuste en los elementos instalados y se pueden llegar a dañar cuando el vehículo cuando se esté operando. Por seguridad del equipo y del piloto es necesario aislar lo más que se pueda las vibraciones transmitidas al chasis del vehículo. Una vibración excesiva también puede resultar en incomodidad del

piloto, aunque este es un tema de menor importancia comparado con la seguridad.

Para lograr aislar las vibraciones causadas por un camino irregular, se contaba únicamente con dos pares de sistemas de resorte-amortiguador, por lo que se tuvo que elegir cuál de los dos utilizar. Los sistemas de resorte-amortiguador ya mencionados no contaban con una placa que identificara la marca del fabricante, propiedades de rigidez o amortiguamiento. La constante de rigidez del resorte se obtuvo luego de realizar algunos cálculos para relacionar el módulo de elasticidad del material con las mediciones del diámetro del alambre, diámetro de la espiral y el número de vueltas.

El coeficiente de amortiguamiento se pudo haber obtenido mediante un experimento que consiste en colocarle distintos pesos determinados y medir el tiempo en que recorre una distancia preestablecida para obtener la velocidad promedio de la trayectoria. Con la información de la velocidad y el peso que se le colocó se puede obtener fácilmente esta constante. Para esto hay que separar el resorte del amortiguador mediante la compresión del resorte hasta una posición en donde se pueda extraer el amortiguador.

El problema que se tuvo al tratar de extraer el amortiguador fue que no se cuenta con el equipo adecuado para realizar la compresión del resorte. Es extremadamente peligroso tratar de comprimir un resorte de este tipo con un equipo no adecuado ya que cualquier mal movimiento se puede zafar de donde se esté sosteniendo y salir disparado violentamente. Por esta razón se decidió utilizar una constante de amortiguamiento de un amortiguador de características similares.

Modelando la suspensión trasera como un sistema vibratorio, se logró obtener la gráfica de la función que describe el comportamiento del movimiento luego de que las llantas traseras sufran un impacto causado por un obstáculo en el camino que colisiona con las llantas a 30 kilómetros por hora. También se

logró obtener la gráfica que describe el comportamiento de la fuerza que se transmite al chasis del vehículo.

Observando la gráfica del comportamiento del movimiento, se puede concluir que en menos de un segundo, el sistema regresa a su posición original. Se ve que el sistema pasa únicamente dos veces por la posición de equilibrio antes de estabilizarse. Esto muestra que el sistema de suspensión es bastante estable y que no se produce tanta vibración comparado con un sistema que oscile demasiadas veces.

La gráfica del comportamiento de la fuerza que se transmite al chasis; muestra que el sistema de suspensión disipa rápidamente la fuerza causada por las oscilaciones que sufre el sistema debido al impacto. Gracias al amortiguador, se disipa la energía que se le imprime al sistema, haciendo que la fuerza que se transmite al chasis no se prolongue con las oscilaciones del sistema.

Se incluyó también un plan de mantenimiento para alargar la vida útil del equipo que se instaló. Se incluyó las actividades de mantenimiento para el sistema de transmisión, que es la lubricación de la cadena, las chumaceras, revisión de la cadena, revisión de los sprockets y la lubricación del eje. Para el sistema de suspensión se incluyó una revisión general de los sellos y empaques del amortiguador y el estado de los resortes para detectar fallas antes de que ocurran. El mantenimiento de los sistemas de resorte-amortiguador se puede realizar hasta que se cuente con las herramientas adecuadas para remover el resorte del sistema.

VI. DESARROLLO DEL MÓDULO DE DISEÑO Y ENSAMBLE DE SISTEMA DE FRENOS Y DIRECCIÓN

A. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO

1. Determinar el diseño de freno más adecuado para el vehículo.
2. Obtener especificaciones de funcionamiento y dimensión para el freno seleccionado.
3. Emplear un sistema de dirección útil y funcional.
4. Establecer el material adecuado para que el mecanismo de dirección soporte las fuerzas que se oponen al giro.
5. Evaluar el desempeño del frenado y el giro.

B. DISEÑO

1. FLUIDOS. Los fluidos se pueden clasificar en dos ramas, una son los compresibles siendo estos los gases, como el aire; y la otra son los incompresibles que son los líquidos como el agua o en el caso de estudio considerando el líquido de frenos con estas cualidades. [26]

A esto se puede decir que la principal función de un líquido de frenos es transmitir la fuerza ejercida en el pedal hasta las pastillas para detener el vehículo por medio de la fricción con los discos. La característica más importante de éste fluido está en la viscosidad puesto que debe tener la capacidad de fluir tanto a bajas temperaturas como a elevadas, además de tener compatibilidad

con elementos del sistema de frenos, como partes metálicas, caucho y tener un punto de ebullición elevado.

2. PRESIÓN. Un fluido por una tubería ejerce fuerzas normales y de corte sobre la superficie que se encuentra en contacto, pero únicamente los fluidos con gradientes de velocidad producen fuerzas cortantes, los que están en reposo solo poseen fuerzas normales y estas son denominadas fuerzas de presión. Esta se representa en medidas del sistema internacional en pascales (PA), se define como: $p = \frac{F}{A}$, donde F es la fuerza normal que actúa sobre el área A. La intensidad de presión solo tiene magnitud y actúa de igual forma en todas direcciones; es una cantidad a escalar. [26]

En un sistema cerrado, cuando se produce un cambio de presión en un punto del sistema este se transmite a través de todo el sistema. Con esto se ve que la presión se transmite y el principio se conoce como la Ley de Pascal, en honor a Blaise Pascal, un científico francés. Este principio de transmisión de presión ha sido de utilidad para la creación de sistemas como las prensas y controles hidráulicos. [26]

3. VISCOSIDAD. Se considera que la distinción más importante entre un sólido y un fluido viscoso como el agua es que el esfuerzo cortante en un material macizo es proporcional a la deformación por corte y deja de deformarse cuando alcanza el equilibrio; en contraparte en el fluido es proporcional a la rapidez de deformación. [26]

El factor de proporcionalidad para el fluido viscoso es la viscosidad dinámica o absoluta. Por tanto se define como $\mu = \frac{\tau}{\left(\frac{dV}{dy}\right)}$, siendo τ el esfuerzo cortante y dV/dy el gradiente de velocidad, en $N \cdot s/m^2$ o en el sistema inglés como $lbf \cdot s/ft^2$.

También se debe conocer el término de viscosidad cinemática, denominada así puesto que la dimensión de fuerza se cancela por la combinación de la densidad. Entonces se tiene $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ donde ρ es la densidad del fluido y la expresión tiene dimensionales en m^2/s , cm^2/s o en el sistema inglés como ft^2/s . Un líquido de frenos DOT3 tiene una viscosidad de $0.015 cm^2/s$. [26]

4. FRICCIÓN. Es la fuerza que se opone al movimiento de un objeto, le presenta una resistencia a desplazarse libremente ya sea en una superficie o en un medio viscoso como aire o agua. Esta se puede producir al frenar, entre las pastillas de un automóvil y el disco de freno, gracias a esta oposición a continuar moviéndose y tal acción genera calor a causa del contacto de ambas superficies con una de ellas en movimiento. [87]

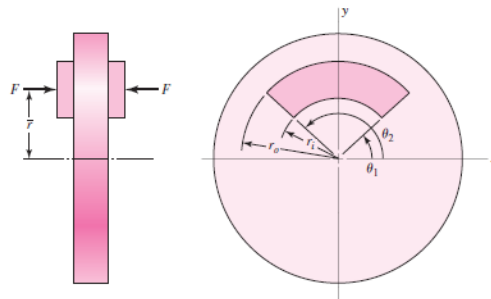
5. FRENOS DE DISCO. Dentro de los tipos de sistemas de frenos se tiene el que se opera por medio de un disco que gira en conjunto con el buje de la rueda al que con ayuda de una pinza o mordaza, con sus émbolos y pastillas de freno, ejerce una fuerza que detiene el movimiento rotacional de la llanta. Los discos de freno regularmente se fabrican en fundición gris perlítica, mecanizando las dos caras de fricción de las pastillas y taladrando los agujeros que sirven para sujetarlo.

Las mordazas están ubicadas en un elemento estático y contienen un purgador de aire del circuito, guardapolvos, retenes de hermeticidad para los émbolos siendo estos los encargados de transmitir la fuerza ejercida por el sistema hidráulico en el que se encuentra el líquido de frenos. [13]

El funcionamiento del sistema consiste en una bomba que transmite la presión en el circuito y por medio de los émbolos, en las mordazas, se transforma a una fuerza de empuje sobre las pastillas que luego se juntan contra el disco. Al producirse lo anterior se genera rozamiento de estas con el disco haciendo que se frene el giro de éste y por ende el de la llanta y el auto. [13]

Para los cálculos respectivos de un freno de disco se emplea la siguiente imagen para determinar las distancias de interés. Se tiene r_o como la distancia a la parte externa de la pastilla, r_i radio interno, θ_1 el ángulo cercano, θ_2 el ángulo lejano con respecto al eje de referencia, \bar{r} radio medio que es la suma de los radios, F la fuerza aplicada para frenar, T es el par de torsión de fricción, P la presión del sistema hidráulico, μ es el coeficiente de fricción de la pastilla y θ la diferencia entre el ángulo cercano y lejano de la pastilla. [13]

Figura 27: Diagrama de un freno de disco y pastilla



Entonces se procede observando que:

$$F = \int_{r_i}^{r_o} pr\theta dr \quad [47]$$

$$T = \mu Fr = \int_{r_i}^{r_o} \mu pr^2 \theta dr = \mu \theta \int_{r_i}^{r_o} pr^2 dr$$

Asumiendo que el desgaste es uniforme, lo que significa que el producto de la intensidad de presión por el radio en cualquier posición va a ser constante. Se obtiene:

$$p_1 r_1 = p_2 r_2 = pr = C \text{ (Constante)}$$

Por tanto,

$$T = \mu \theta C \int_{r_i}^{r_o} r dr = \frac{\mu \theta C}{2} (r_o^2 - r_i^2)$$

Ahora para la fuerza:

$$F = \int_{r_i}^{r_o} pr\theta dr = C\theta \int_{r_i}^{r_o} dr = C\theta(r_o - r_i)$$

Entonces:

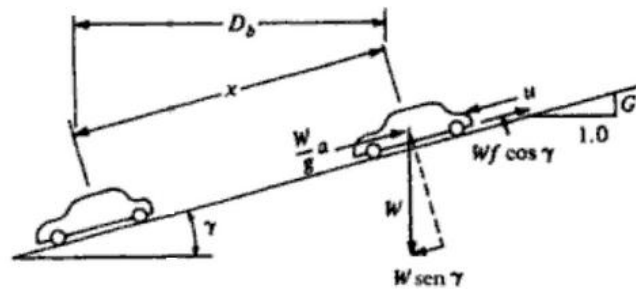
$$C\theta = \frac{F}{(r_o - r_i)} \quad [47]$$

Substituyendo en el valor en T:

$$T = \frac{\mu F}{2(r_o - r_i)} (r_o^2 - r_i^2) = \frac{\mu F}{2} (r_o + r_i) = \mu F \bar{r}$$

6. DISTANCIA DE FRENADO. Para la detención de un vehículo es importante conocer la distancia a la que se detendrá analizando parámetros como aceleración, peso del auto, llantas, acción de las fuerzas, entre otros. Para el análisis de frenado se empleará la Figura 28 en donde D_b es la distancia de frenado, γ es el ángulo de inclinación, f coeficiente de fricción, W peso del vehículo, a aceleración del auto, g gravedad presente, u velocidad a la que viaja el carro, x distancia recorrida luego del frenado. [42]

Figura 28: Análisis de fuerzas en frenado con pendiente



Entonces se puede proceder con la fuerza de fricción *Fuerza de fricción sobre el vehículo* = $W f \cos(\gamma)$. La fuerza que actúa sobre el vehículo debido a la desaceleración es $\frac{W a}{g}$. La componente del peso del vehículo es $W \sin(\gamma)$. Al sustituir en una sumatoria de fuerzas se obtiene.

$$W\text{sen}(\gamma) - Wf\text{cos}(\gamma) = \frac{Wa}{g}$$

La desaceleración que lleva el auto a una posición estacionaria puede encontrarse en términos de la velocidad inicial u como $a = -\frac{u^2}{2x}$. Y con $Db = x\text{cos}(\gamma)$.

Entonces se tiene que:

$$\frac{Wu^2}{2gx} \text{cos}(\gamma) = wf\text{cos}(\gamma) - W\text{sen}(\gamma)$$

$$\frac{u^2}{2gDb} = f - \tan(\gamma)$$

Por tanto,

$$Db = \frac{u^2}{2g(f - \tan(\gamma))}$$

Luego se puede realizar sustitución de datos tomando en cuenta que según la AASHTO [American Association of State Highway and Transportation] el coeficiente de fricción se puede representar como a/g . Además se indica que un valor de desaceleración cómodo para un conductor es de 3.41 m/s^2 ; mientras que para una frenada de emergencia se obtiene a valores más altos de 4.51 m/s^2 e inclusive mayores. [42]

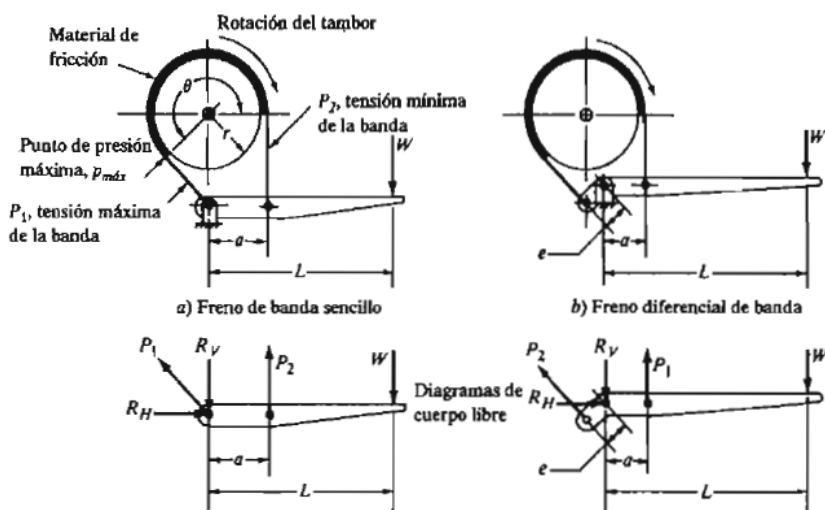
Entonces deseando que el vehículo frene desde una velocidad inicial u_1 a una velocidad final u_2 , se obtiene la siguiente ecuación.

$$Db = \frac{u_1^2 - u_2^2}{2(a \pm G)}$$

Siendo $G = \tan(\gamma)$ siendo esta la pendiente del plano inclinado; es decir, el porcentaje de la pendiente/100. [42]

7. FRENOS DE BANDA. Los frenos de banda son elementos mecánicos que frenan a causa de una cinta que genera fricción al restringir el movimiento de un tambor que gira en conjunto con el eje de las llantas. La aplicación de una fuerza a la palanca pone la banda en tensión y genera una fuerza. Esta es normal y produce una fricción tangencial a la superficie del tambor y lo retarda. Puede observarse dos tipos de estos frenos en la imagen siguiente junto con el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas y reacciones presentes. [77]

Figura 29: Frenos de banda



Entonces el par torsional $T_f = (p_1 - p_2)r$; siendo r el radio del tambor. Luego se tiene que el punto de máxima presión sobre el material de fricción está en el extremo más cercano a la máxima tensión p_1 , con w como el ancho de la banda. [77]

$$p_1 = p_{\max} r w$$

Relacionándose p_1 con p_2 con la siguiente ecuación, empleando θ como el ángulo total abarcado por la banda, en radianes; y f como un valor de diseño que puede ser de 0.25 o a discreción del diseñador. [77]

$$p_2 = \frac{p_1}{f\theta}$$

Ahora se tiene que la fuerza de acción F_s para el freno de banda sencillo y F_d de banda diferencial respectivamente:

$$F_s = \frac{p_2 a}{L} \quad F_d = \frac{(P_2 a - p_1 e)}{L}$$

8. SELECCIÓN DE FRENOS. Con anterioridad para los vehículos se utilizaban los frenos de tambor pero luego se obtuvo un mejor sistema denominado frenos de disco. Estos son ligeros, sencillos, tienen una mejor disipación del calor por estar expuestos al aire libre y son más efectivos que los de tambor; a esto se puede mencionar que el peso de un conjunto completo de discos es inferior a los de tambor y con ello se logra reducir el peso que se ejerce sobre la suspensión y mejorar la aceleración, condiciones en marcha y frenado. Además de lo anterior, con el mecanismo de mordaza y pastillas se puede obtener una mejor respuesta que con las zapatas. [39]

Cuando los frenos de tambor se utilizan para frenar el auto, inclusive un cambio ligero en el coeficiente de fricción causa un gran cambio en la fuerza que se debe ejercer en el pedal para poder frenar.

9. MATERIALES DE FRICCIÓN. Un material de fricción debe tener las siguientes características para mejorar la durabilidad del mismo y un buen funcionamiento.

- a. Tener un coeficiente de fricción elevado.
- b. Poder interactuar en medios como la humedad.
- c. Ser flexibles.
- d. Compatibilidad con el entorno.
- e. Alta resistencia al desgaste, raspaduras y rayado.

- f. Ser bueno para soportar altas temperaturas.
- g. Buena transferencia térmica.
- h. Calor específico elevado. [13]

Uno de los mejores materiales para los frenos es el asbesto modelador rígido, que tiene un coeficiente de fricción entre 0.31 a 0.49, soporta una presión máxima de 5 MPa aproximadamente y una temperatura de 300 Celsius. Estos forros contienen fibra de asbesto con otros metales. [13]

10. TRANSFERENCIA DE CALOR. La convección es un modo para transferir energía entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente que esté en movimiento y comprende los efectos combinados de movimiento de fluidos y conducción. Si el fluido adyacente tiene movimiento leve o es estacionario se dice que se tiene una convección natural, mientras que si éste es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como ventiladores, se le denomina convección forzada. [113]

En la transferencia de calor se observa que algunos cuerpos se comportan como un objeto que tiene una temperatura interior que permanece uniforme en todo momento durante la disipación de calor. La temperatura de estos cuerpos se puede tomar como función del tiempo. Al análisis empleado para estos procesos se le conoce como sistemas concentrados, el cual proporciona una simplificación para transferencia de calor. [113]

Para un sistema concentrado se tiene la ley de Newton del enfriamiento:

$$\dot{Q} = hA(T(t) - T_{\infty}) \quad [113]$$

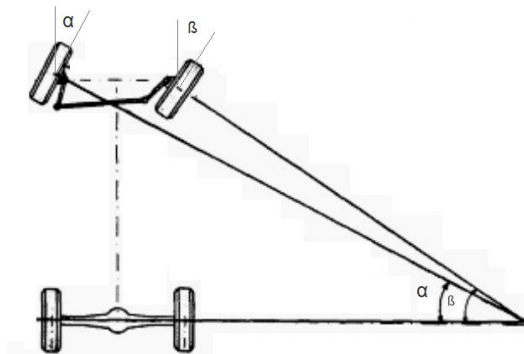
Con h como el coeficiente de convección, A el área superficial, $T(t)$ la temperatura respecto al tiempo y T_{∞} la temperatura de los alrededores. Entonces se puede decir que la transferencia de calor máxima entre el cuerpo y sus alrededores es, con T_i como la temperatura del objeto.

$$Q_{\max} = mc_p(T_{\infty} - T_i) \quad [113]$$

11. BRAZO ACKERMAN. Para que un vehículo no derrape se necesita que éste cumpla con la condición geométrica conocida como principio de Ackerman. Éste indica que cuando un vehículo gira, los ejes de todas las ruedas deben concurrir en un mismo punto, al que se le denomina centro instantáneo de giro. [53]

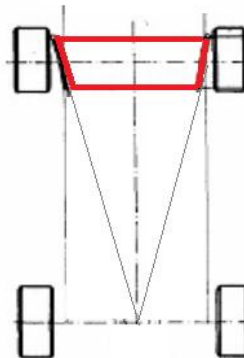
Al realizar el principio, se obtiene la ventaja que la rueda ubicada en el interior de la curva se cierre más que la rueda que gira por el exterior; con lo que se evita generar derrape en el vehículo a causa de tener giros innecesario en las ruedas. El ángulo que en una curva forma la rueda exterior con el eje trasero, α , es menor que el ángulo que forma la rueda interior con el eje trasero, β , esto puede observarse en la Figura 30. Si esto no se respetara, las ruedas se arrastrarían transversalmente, y acabarían destrozándose. [53]

Figura 30: Brazo Ackerman con ángulos de giro



Para poder obtener el ángulo de giro deseado, Jeantaud ideó un cuadrilátero que lograba el viraje bastante próximo al giro correcto con mínimos errores y esto se obtiene mediante la prolongación de los brazos, en forma inclinada, hasta la mitad del eje trasero encontrándose en un punto en común que es el centro de rotación del auto. Lo mencionado anteriormente se puede observar en la siguiente imagen. [53]

Figura 31: Trapecio de Jeantaud



C. METODOLOGÍA

Para el proyecto se trabajó en la selección e instalación de un sistema de frenos y un mecanismo de dirección a un vehículo híbrido. Esto se inició con un viaje al puerto de San José y se efectuó la compra de un auto para playa que sirve de base para el proyecto haciéndole mejoras a los mecanismos que posee y agregando nuevos elementos para cumplir con las expectativas del trabajo.

Para ambos elementos del módulo se pidió ayuda a un asesor y a catedráticos de la Universidad del Valle de Guatemala, con el fin de orientar los conocimientos y obtener más ideas de utilidad, provenientes de profesionales. Al mismo tiempo, se inspeccionaron elementos usuales en un vehículo en el taller de Cofiño Stahl, gracias a las prácticas que se realizaron en octubre del 2011, y así poder determinar si los componentes cotidianos son de fácil mantenimiento, qué ventajas brindan, por qué las diferentes posiciones o por qué se emplean elementos adicionales a los mecanismos básicos.

Luego se fundamentó lo observado con fuentes bibliográficas y aspectos teóricos de carácter ingenieril. Para esta obtención de información, se utilizó el libro de diseño mecánico de Shigley, diseño de elementos de máquinas de Robert Mott y demás fuentes informáticas que aporten conocimientos para poder analizar los tipos de freno comúnmente utilizados determinando las ventajas y desventajas de cada uno; además de observar las bases científicas para realizar

cálculos que son de utilidad para respaldar la elección.

1. CÁLCULOS CIENTÍFICOS. Para iniciar con el proyecto y tener una guía de los elementos a utilizar se realizaron cálculos para los frenos de disco, de banda, fuerzas en el sistema de dirección y análisis de corte; estos pueden verse en los anexos. En el caso de los frenos, se utilizó una velocidad de 40 km/h puesto que el módulo del motor eléctrico indicó que aproximadamente 30 km/h sería la velocidad promedio a alcanzar con el auto y por ello se decidió agregar un margen y no tener que trabajar justo. Además, se trabajó con una pendiente de 15 por ciento puesto que el parqueo del Colegio Americano, en la Universidad del Valle de Guatemala, no es totalmente horizontal sino que posee una leve inclinación.

Observando los cálculos se puede ver que se trabajaron en el sistema internacional y las respuestas están en sistema inglés. Lo anterior sucedió puesto que el trabajo científico con dimensionales en el sistema internacional son las dominadas por el autor y las respuestas, como la fuerza y presión, se trabajan en el inglés por ser una medida más utilizada por pobladores guatemaltecos. Al trabajar en Newtons y Pascales, el lector puede no ubicar la magnitud trabajada y empleados en ventas de repuestos, al momento de realizar las compras, se les debía indicar en medidas usuales, libras y psi, para su comprensión y así brinden una mejor orientación de productos.

2. SISTEMA DE DIRECCIÓN. Para esta fase se utilizó material multimedia, como videos e imágenes, para ampliar la información y conocer aún más mecanismos que pueden ser de utilidad; como lo es la adición de un amplificador de fuerza por vacío, para el frenado, o emplear el principio de Ackerman para el sistema de dirección. Para hacer que los neumáticos giren, se buscaron elementos que sean más sencillos y económicos que una cremallera y engrane helicoidal.

Además, se analizó el dispositivo utilizado en el auto de playa y determinar si es de utilidad para realizarle mejoras o si debe crearse un sistema nuevo. Seguido, se trabajó un modelo en el programa de Autodesk Inventor para conocer si es posible llevar a cabo el diseño propuesto.

Dicho prototipo puede observarse en las imágenes del modelo para elevación, planta, en isométrico con llantas transparentes para observar la forma en colocar las bufas que sostienen las llantas y por último otra figura con las llantas giradas mostrando el funcionamiento.

Figura 32: Modelo en elevación

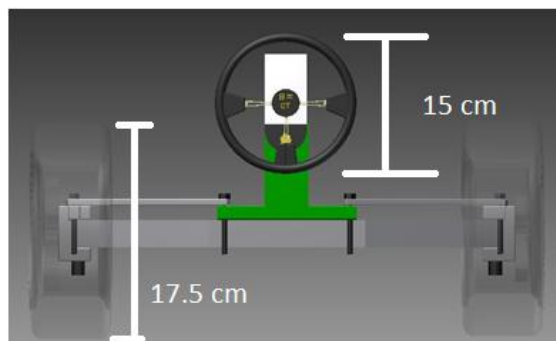


Figura 33: Modelado en planta

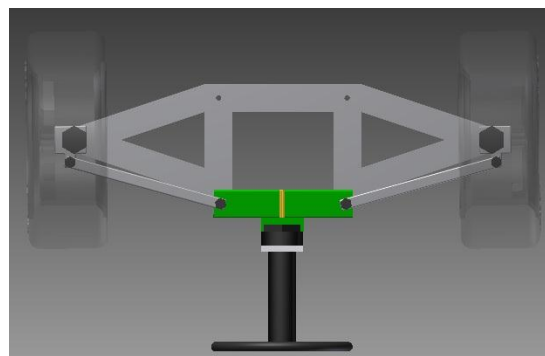


Figura 34: Vista en isométrico

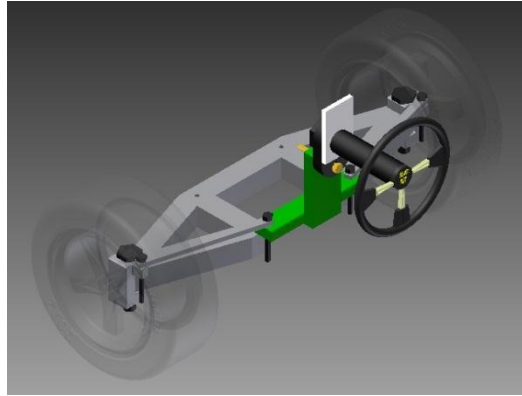
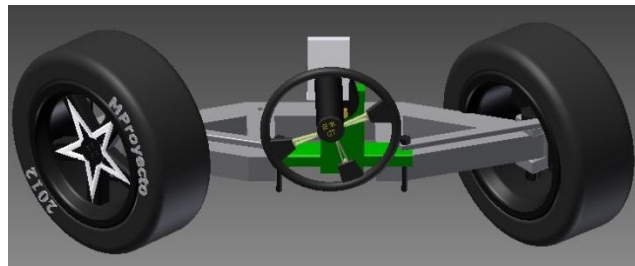


Figura 35: Giro del timón y llantas



Para registrar los datos obtenidos se hizo uso de una computadora y para cálculos se empleó el software de Mathcad. En cuanto a la detección de problemas, se analizó lo que se necesitaba y se estudió cada elemento analizando las ventajas de cada mecanismo y de esta forma determinar cuál resulta ser el más adecuado.

Luego de realizar la parte científica e investigativa, se procedió a realizar la sección operativa con el ensamble de los diferentes componentes en el prototipo. Inicialmente se trabajó con el sistema de dirección. Con base en el modelo elaborado en Autodesk Inventor 2012, se pretendía comprar materiales para llevar a cabo el diseño a como se mostró anteriormente. Después de un análisis de costos se decidió trabajar sobre el mecanismo existente en el auto.

Para el ensamble, primero se desarmó el mecanismo y se separaron todos los elementos que lo conformaban para evaluar si era posible reutilizarlos o si

era necesario comprar nuevas partes. Se procedió a cambiar algunos tornillos como los del timón y a enderezar las barras que unen el eje del timón con las rótulas de las llantas.

Se realizaron pruebas dentro del auto para determinar si el timón estaba en una distancia adecuada, brazos levemente doblados no totalmente extendidos, y con ello que se determinó que podía ser ajustable. Para lograr lo anterior, se trabajó un tubo en el que el eje pudiese entrar; se le realizaron tres agujeros para las diferentes posiciones de altura. Seguido se ensamblaron todos los elementos, y los que no fueron remplazados, se limpiaron y se les agregó aceite WD-40 cuando se ensambló de nuevo para tener uniones lubricadas y evitar sonidos indeseados.

Para esta fase, se buscaba un mecanismo en el que el radio de giro, de la llanta derecha respecto a la izquierda, fuese diferente al momento de tomar una curva con el fin de no tener un derrape involuntario en una de las ruedas. A causa de lo anterior, se determinó que un mecanismo de beneficio era el Ackerman por otorgar esa diferencia de ángulos de giro y a causa de ello se buscó su utilización.

Entre los análisis realizados, para la fase de ensamblado, fue necesario realizar presupuestos para la compra de los diferentes elementos necesarios para llevar a cabo el proyecto. Luego de hacer las cotizaciones en ventas de aceros, se determinó que el costo para realizar el mecanismo de giro era elevado. En total se debía comprar una platina, dos barras y un tubo, se preguntó por acero cold roll para reducir costos y se obtuvo en Proventsa un total de Q 1,885.00, en Aceros Suecos se cotizó un monto de Q 1,082.07 como se puede observar en las tablas mostradas a continuación.

Tabla 4: Cotización en Proventsa				
PARTE	PRECIO	Material	Dimensiones	
SEGUIDOR	Q 195.00	cold roll	4x1x8	in
BARRAS DE UNIÓN	Q 1,345.00	cold roll	4x1x55	in
TUBO	Q 345.00	1030	32 ext 16 int 1000 largo	mm
TOTAL	Q 1,885.00			

Tabla 5: Cotización en aceros suecos				
PARTE	PRECIO	Material	Dimensiones	
SEGUIDOR	Q 82.29	cold roll	2x1x8	in
BARRAS DE UNIÓN	Q 775.30	cold roll	1.5x1.5x55	in
TUBO	Q 224.48	cold roll	30 ext 20 int 1000 largo	mm
TOTAL	Q 1,082.07			

Debido a lo anterior y por tener un presupuesto reducido, se analizó el sistema de dirección que tenía inicialmente el vehículo; tomando en cuenta los cálculos, realizados en la fase científica, con las correcciones para el modelo existente. Con lo previo se determinó que el mecanismo presente estaba en buenas condiciones y por ello se procedió a realizarle correcciones y mejoras para de esta forma evitar el gasto en nuevos materiales. Además se observó que el sistema utiliza acero en todos sus componentes y con ello se garantizaba que las barras soportarían los esfuerzos últimos gracias a soportar aproximadamente 600 mega Pascales.

A causa del vehículo estar en un área arenosa y cerca del mar, presentaba corrosión en los diferentes elementos que lo conforman y algunos tornillos debieron ser remplazados con el fin de evitar fallas prematuras mientras que otras partes fueron lijadas y se les agregó aceite para protección de futura oxidación y evitar fricción que desgaste.

Una mejora que se agregó al sistema de dirección existente fue el hacer un timón ajustable en altura para que según sea el conductor que utilice el auto

pueda graduar a la posición deseada, esto se puede observar en las imágenes seguidas. Para ello se verificaron tres distancias con diferentes usuarios y se perforo una barra hueca para las diferentes variantes. Se analizó un diámetro de agujeros para que el tornillo empleado no fuese a fallar por corte. Se asumió una fuerza de 35 libras, mayor a la esperada, y se utilizó un diámetro de 5 centímetros. Con esto se obtuvo un corte de 8 kilo Pascales teniendo en cuenta que el esfuerzo último del tornillo está en aproximadamente 600 mega Pascales y por tanto soporta el esfuerzo a corte provocado por el giro del timón.

Figura 36: Timón con barra ajustable



Figura 37: Timón con barra que tiene tres agujeros para diferentes distancias



3. FRENOS DE DISCO. Una vez instalado el sistema para el giro, se trabajó con la parte encargada de la detención del auto. Se compraron dos discos de freno de moto con un diámetro exterior de 24 centímetros y un espesor de 4 milímetros, dos juegos de mordazas con sus pastillas y cada una con una bomba central de freno delantero y cada una con una manguera que tiene un diámetro interno de 1/8 de pulgada. Además, se compró acero maquinado en frío, dos discos y dos barras perforadas para hacer las masas que sujetan los discos y el tambor de la banda.

Se trabajaron los modelos de las masas en Autodesk Inventor y con base en los planos, mostrados en los anexos, se procedió a torneear las ruedas de acero y las barras perforadas. Al obtener la forma deseada se unieron con soldadura de arco eléctrico y por último se perforaron para hacer la cavidad de los pernos que sujetan a los discos de freno. Finalmente, se enviaron las dos piezas a Maquinados Precisos para que se les trabajara la cuña interna de 1/4 de pulgada y además se les agregaran los cuatro opresores. Estas pueden observarse en conjunto con el disco e individuales en las siguientes imágenes.

Figura 38: Masa con tambor soldado



Figura 39: Vista en planta de masa

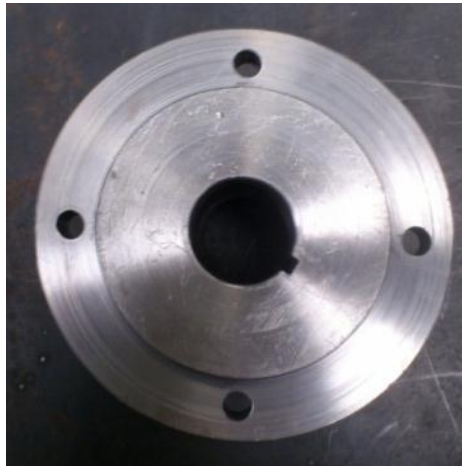


Figura 40: Vista en planta de masa con disco de freno



En el eje de transmisión se tenían diseñadas las cuñas a la medida de cada masa por lo que se introdujo una masa en la izquierda y la otra en la derecha. Al tener instalado el eje en el auto, se realizó un ajuste minucioso de las masas en conjunto con los discos de freno previamente colocados con ayuda de cuatro pernos. Esto se realizó con ayuda de un mazo de goma dando golpes para desplazar la pieza a la posición deseada y al estar en donde se necesitaba se apretaron los cuatro opresores.

Luego de lo anterior se procedió a colocar las mordazas. Para esto se trabajaron unas bases en acero angulado a 90 grados, un soporte más alto que

el otro, perforando el mayor y el menor se le trabajó una corredera con ayuda de una fresa. Estas se soldaron con arco eléctrico al chasis del vehículo verificando que al momento de colocar las mordazas no hubiera interferencia con el disco y tampoco con otros elementos de los alrededores.

Con las mordazas en su lugar se continuó con la ubicación de la bomba central. Inicialmente se trabajó con una bomba y se mandó a unificar las mangueras en un punto con una te de bronce. Luego se trabajó con dos bombas de freno una para cada disco. Estas se purgaron hasta obtener la presión adecuada haciendo pruebas de frenado, es decir, se hacía girar el eje y se presionaba el pedal para comprobar si lo detenía.

Además de lo mencionado se corroboró que no se tuvieran las pastillas en abundante rozamiento realizando un ajuste meticuloso con el freno activado, colocando roldanas en los tornillos de las bases con el fin de acomodar la mordaza y el disco, para de esta forma, tener un contacto leve. Después se desactivó la bomba y se hizo girar el eje para corroborar el frenado y que no elevara el amperaje del motor eléctrico.

Después, para que el pedal se percibiera más firme e iniciar el frenado antes de llegar al tope de la carrera, se cortaron pedazos de lámina de 0.7 mm de espesor y del tamaño de la base de la pastilla. Se unieron tres con ayuda de silicón para temperaturas de más de 200 Celsius y se colocaron en la parte posterior de la fricción en contacto con los émbolos, esto para el lado derecho e izquierdo. Colocando la mordaza se determinó que una lámina era lo más que se podía agregar para evitar el roce excesivo y por último se volvió a realizar la purga.

Continuando con la realización de un análisis, es importante mencionar el por qué la elección de este medio de detención, observando que los frenos de disco eran los adecuados por tener menor peso, tener un mantenimiento más sencillo

de realizar, utilizar pocas piezas para su funcionamiento, otorgar una respuesta de activación más rápida, tener una mejor transferencia de calor y además los cálculos científicos son de menor complejidad.

Inicialmente se pensó que el prototipo utilizaría cuatro frenos de disco, uno para cada llanta. Se inspeccionó el auto para determinar la ubicación de los componentes y se determinó que en la parte delantera del auto se tenía poco espacio para agregar elementos extras. Por lo anterior se debía pensar en una inversión extra para adicionar área y cumplir con la idea de cuatro discos aunque al iniciar los cálculos se observó que empleando únicamente dos frenos podía efectuarse la detención del carro adecuadamente gracias a tener un peso menor a las 890 libras por todo el vehículo.

Además, se tiene la respuesta a la incógnita del por qué utilizar frenos de disco de motocicleta en vez de emplear de automóvil. Uno de los elementos para responder es el peso; a causa del vehículo ser más liviano que un auto convencional y por tener una velocidad de aproximadamente 30 km/h, el torque exigido para detener el prototipo es menor que el necesitado para un móvil de uso cotidiano.

Entonces, realizando los cálculos para mecanismos de motocicleta, a como se puede observar en los anexos para los frenos de disco, se observa que la fuerza requerida para poder detener el vehículo es de menos de 15 libras para detener el torque total generado en una pendiente de 15 por ciento. Lo anterior utilizando medidas para discos, pastillas, émbolos de mordazas y pistón de bomba de freno de moto.

Otro de los aspectos que influyó para la elección de estos discos fue el factor económico ya que los precios para un sistema de frenos de automóvil son elevados, inclusive buscando partes en hueseras o de autos usados. Buscando para motocicleta se obtuvieron datos como los que se muestran en las

siguientes tablas, para dos distribuidores diferentes con partes nuevas; y también en los anexos se presenta la cotización del material usado para hacer las dos bufas con un valor de Q545.30 comparado con una bufa de un vehículo usado costando aproximadamente Q400.00, lo que implica Q800.00 para ambos frenos. Además de esto, todos los elementos de un carro son más pesados y robustos que los de moto.

Tabla 6: Cotización Masesa			
CANTIDAD	PRODUCTO	PRECIO	TOTAL
2	Disco de freno	Q407.03	Q814.06
2	Juegos de pastillas	Q190.00	Q380.00
2	Mordazas	Q331.52	Q663.04
3	Lt. Líquido de frenos	Q45.00	Q135.00
1	Sistema de mangueras de 1/8"	Q300.00	Q300.00
			<u>Q2,292.10</u> TOTAL

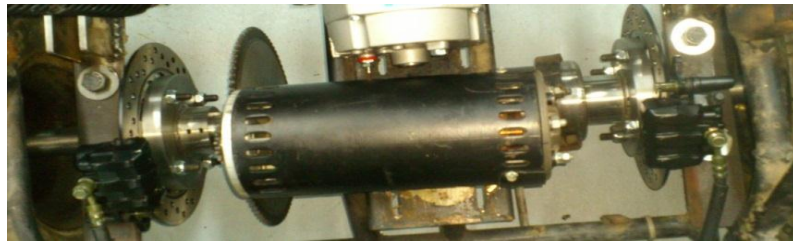
Tabla 7: Cotización FPK			
CANTIDAD	PRODUCTO	PRECIO	TOTAL
2	Disco de freno	Q132.00	Q264.00
2	Mordazas con pastillas	Q352.00	Q704.00
3	Lt. Líquido de frenos	Q45.00	Q135.00
1	Sistema de mangueras de 1/8"	Q300.00	Q300.00
			<u>Q1,103.00</u> TOTAL

Al momento de determinar que se emplearían dos discos de frenos, se estudió la ubicación ideal notando que, por ser tracción trasera, debían colocarse en la parte posterior. Además se decidió colocarlos directamente en el eje transmisor de potencia con el fin de frenar directamente al mismo y también para evitar una inversión extra en un elemento que fijara las piezas a la llanta tomando en cuenta que el espacio era reducido.

Seguido se trabajó en las masas con base en los planos mostrados en los anexos. Se puede observar que una de estas posee la barra perforada más corta que la otra y la razón es que en la mayor, además del disco de freno, se

colocó el tambor para la detención manual; estas piezas se soldaron entre sí para evitar movimientos indeseados y se colocó al lado derecho del auto. Además, la otra masa se trabajó con menor longitud para evitar interferencia con el disco dentado que tiene la cadena y estos dos elementos ambos del lado izquierdo del vehículo. Lo mencionado se puede observar en la imagen siguiente, notando que la masa derecha es más larga que la izquierda por tener el freno de tambor. Esta fotografía se tomó durante el proceso de ensamble de los componentes en el eje.

Figura 41: Diferencia de longitud entre masa izquierda contra derecha



Luego de colocar las masas en el eje se corroboró su posición desplazándolas hacia la derecha o izquierda con el fin de no tener interferencias con otros elementos cercanos y a la vez para crear espacio para que las mordazas pudieran estar en una posición cómoda; es decir, los discos debían estar cerca del chasis para que las mordazas se acomodaran al mismo pero tomando en cuenta que no debe existir roce alguno para evitar fallos.

Seguido se acomodaron las mordazas y se trabajó en las bases que las detendrían al chasis. En total fueron cuatro soportes, dos altos y dos bajos. A los menores se les trabajó una corredera, con ayuda de una fresa, para que al momento de instalar el freno fuese más fácil colocar los tornillos y asimismo tener mayor libertad cuando se hiciera el análisis de interferencia y ajuste entre pastillas y discos.

Teniendo instaladas las mordazas con sus pastillas y los discos se procedió a colocar el pistón central y las mangueras con el líquido de freno. Según lo

calculado, es necesario hacer uso de una palanca entre el pistón y el pedal para disminuir la fuerza de accionamiento. Con el fin de obtener lo indicado, se trabajó con bombas de freno delantero de motocicleta puesto que la manecilla instalada realiza la función de palanca, evitando con ello tener que fabricar un nuevo elemento y a su vez buscarle una adaptación. Ésta se colocó en posición vertical notando que la posición de la bomba no afecta el funcionamiento del sistema, siempre y cuando se tengan lleno el reservorio de líquido para impedir que ingrese aire en los orificios de admisión.

Primero se trabajó un sistema con una sola bomba llevando una manguera de longitud 1.20 metros llegando a una te de bronce en donde se bifurcaba la línea a cada mordaza. Todo realizado con conductos de diámetro interno de 1/8 de pulgada para evitar pérdidas de presión. Entonces, se inició la purga del sistema hasta llevar a la presión adecuada para el funcionamiento de los frenos. Se realizaron pruebas para verificar que el eje no estuviese detenido y no elevar el amperaje del motor eléctrico para evitar que se quemara. Además al hacer intentos de frenado la fuerza generada fue tan pequeña que inclusive con la mano se podía hacer girar al mismo.

Se consultó a ingenieros de la Universidad del Valle de Guatemala, a técnicos con conocimientos del tema y con investigación se determinó que la cantidad de líquido desplazado no es suficiente para mover los émbolos de las dos mordazas; es decir, la carrera del pistón debía ser mayor para aumentar la fuerza de frenado y por ende la de retracción y evitar el roce excesivo.

Debido a tener dos bombas disponibles en el taller y para evitar la compra de un pistón de mayor precio, se decidió trabajar sistemas individuales para cada mordaza, como se ve en la Figura 42. Con lo anterior se logró que cada freno tuviera una bomba dedicada para poner en contacto las pastillas con los discos y poder retirarlos en forma adecuada. Lo anterior no afecta los cálculos realizados puesto que las bombas de freno se colocaron de tal modo que funcionen como

una sola, haciendo que los sistemas, para cada mordaza, se comporten exactamente igual al presionar el pedal y para fines de operaciones matemáticas se pueden asumir como uno solo. Entonces, luego de realizar la purga de cada línea se trabajaron pruebas de frenado con el fin de obtener una fuerza de detención capaz de parar el auto y a la vez no estar en rozamiento excesivo para no aumentar el amperaje del motor eléctrico.

Figura 42: Bombas de freno sincronizadas



A lo anterior, una pastilla debe rozar levemente el disco para que al momento de frenar no se produzca un choque haciendo que generen grietas y quebraduras. Sin embargo, el roce excesivo debe ser evitado para no tener desgaste prematuro en el disco y en las pastillas; además, en el prototipo se puede quemar el motor eléctrico por ser éste el encargado de transmitir la potencia frenando el eje y así elevando el amperaje necesario para moverlo. Este amperaje debe estar por debajo de los 30 A y se llegó a valor de 26 A con las llantas despegadas del suelo; observando que es un valor extremadamente alto.

Por esta razón, se determinó que se tenía un roce constante mayor al adecuado y por ello se trabajó con el ajuste entre mordaza y disco. Para ello se buscó que antes de purgar el sistema hubiese separación y no se tuviera fricción

alguna, como se muestra en la figura siguiente para la pastilla izquierda y derecha en un mismo disco. Luego se activó el freno y se fue corroborando que la mordaza no se encontrará movida, causando rozamiento desigual a lo largo de la pastilla. La interferencia se corrigió con ayuda de roldanas en los tornillos que sujetan a las mordazas; para el lado izquierdo se agregó un total de 2.75 milímetros, en cuanto al lado derecho se adicionó 1 milímetro y con esto arreglando la posición de las pinzas hasta tenerlas en paralelo con el disco.

Figura 43: Separación entre disco y pastilla lado izquierdo y derecho



Luego de hacer pruebas de funcionamiento para el sistema de frenos hidráulicos, las pastillas producían en los discos una fuerza de sujeción leve, por ello se buscó la forma de aumentarla analizando posibles inconvenientes. Seguido se determinó que los émbolos de las mordazas se encontraban 3 milímetros afuera de las pinzas, haciendo con ello que se tuviera menor carrera antes de llegar al tope que evita que sean expulsados. Entonces se desea que los pistones estén más introducidos para que se tenga mayor desplazamiento al éstos ser movidos hacia fuera por medio del líquido de frenos. Para hacer que se introdujeran, se colocó en la parte trasera de la pastilla, una lámina de 0.7 milímetros de espesor y con ello se consiguió que cuando se presione el pedal, se empiece a frenar antes de llegar hasta el tope.

Figura 44: Instalación final de mordaza con los soportes visibles.



4. FRENO DE BANDA. En cuanto al freno de mano, se trabajó con el tambor y la banda que tenía el auto. La faja únicamente fue lijada por estar en buen estado mientras que al tambor se le retiró el eje antiguo y se torneó a la medida de la masa en la que se colocaría; además se lijó hasta eliminar toda la corrosión presente. Luego se soldó a una de las masas y además se colocó una platina con un agujero para el tornillo que sujeta la banda sobre el freno. Puede verse el trabajo realizado en las imágenes mostradas a continuación; notando que al inicio se tenía abundante corrosión hasta reducirla con el lijado y colocado en su posición final.

Figura 45: Tambor colocado en el eje antiguo



Figura 46: Freno removido del eje con oxidación



Figura 47: Tambor del freno de banda colocado en la masa



Inicialmente se trabajó un diseño para la barra de accionamiento utilizando una barra sólida como activador de la banda. Luego se decidió comprar una palanca empleada en los vehículos convencionales, la que se pintó para darle una mejor apariencia, y también se usó un cable para cerrar la faja del freno.

Entonces con ayuda de tornillos sujetadores se tensó el cable y se graduó con el fin de tener que levantar lo menos posible la palanca de mano.

Para este sistema se pensó en utilizar elementos mecánicos con la idea de simplificar la instalación y operación de los componentes y además buscar la reducción en costos y por ello se hace uso del freno de tambor con banda ya existente en el chasis usado. Se trabajó con el diseño que se basa en la utilización de un tubo, una barra sólida y un barra de 1/4 de pulgada a como se observa en la figura siguiente, donde se tiene el prototipo instalado en la barra situado abajo del eje del timón.

Figura 48: Prototipo de palanca de freno de mano



Luego de pruebas de funcionamiento se determinó que la fuerza ejercida sobre la banda era baja para activar el freno adecuadamente y por ello se decidió trabajar con una palanca de automóvil y un cable tensado. Con lo anterior se ganó más fuerza de sujeción gracias a poder graduar la tensión con ayuda de unos tornillos sujetadores y además de tener mayor movilidad con el mecanismo de engrane dentado que posee la barra activadora. El sistema final se puede ver en la fotografía siguiente, en donde se tiene la palanca instalada a un costado del eje del timón y gracias al tipo de accionamiento, se obtiene una activación suave y graduable.

Figura 49: Instalación final de la palanca de freno de mano



Al final, se realizaron las evaluaciones para determinar si el funcionamiento de cada sistema es adecuado con base en respuestas binarias; frena o no, gira o no. Además, se trabajó en pruebas de frenado acelerando el vehículo en línea recta y deteniéndolo al momento de llegar a una línea de meta d conocer valores de velocidad alcanzada, tiempo de frenado y distancia a la que el auto se detiene por completo. También, se tomaron medidas para conocer ángulos de giro de cada llanta y determinar si el principio Ackerman está en funcionamiento.

D. RESULTADOS

Con base en los cálculos realizados se hicieron las compras de los diferentes elementos a ser instalados en el auto. Entonces se instalaron discos de 4 milímetros de espesor con un diámetro externo de 24 centímetros e interno de 20.5 cm, empleando pastillas de 3 cm de ancho ubicadas en mordazas que tienen dos émbolos con diámetro de 3 cm cada uno. Además se emplearon dos bombas sincronizadas para que trabajen al mismo tiempo con pistones de aproximadamente 1 cm de diámetro. Con lo anterior, se debe hacer una fuerza de accionamiento en el pedal de aproximadamente 14 libras. Además se tiene un freno de mano, el cual utiliza un tambor y banda, y se activa con menos de 21 libras de fuerza.

En cuanto al sistema de dirección, se utilizaron barras de acero para soportar los esfuerzos de corte como se puede apreciar en los cálculos realizados en los anexos. Además se tiene una barra que permite ajustar la distancia del timón

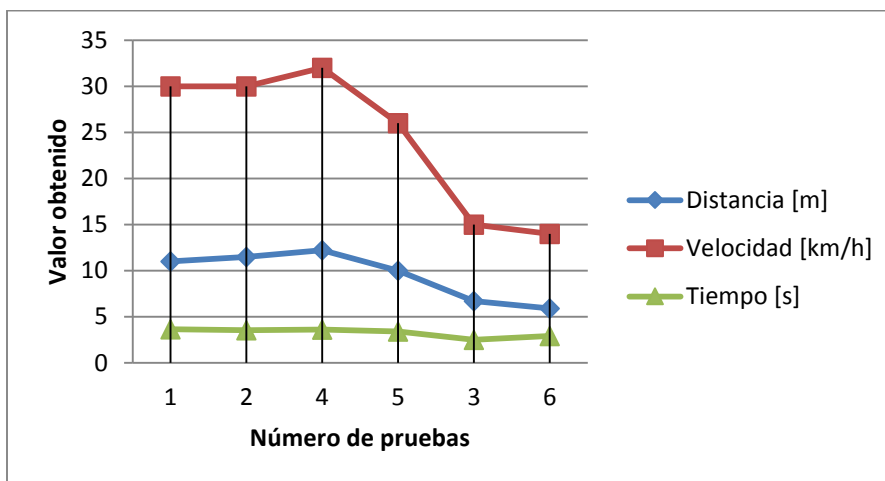
según el gusto del conductor. Para poder girar el volante se debe hacer una fuerza total de 21.4 libras, aproximada de 10.7 libras por mano.

Luego de trabajar en las pruebas se obtuvieron los siguientes resultados.

CONDUCTOR	PRUEBA No.	Distancia [m]	Velocidad [km/h]	Tiempo [s]
PILOTO 1	1	11	30	3.64
	2	11.50	30	3.54
PILOTO 2	3	6.70	15	2.5
	4	12.20	32	3.61
PILOTO 3	5	10	26	3.4
	6	5.88	14	2.9

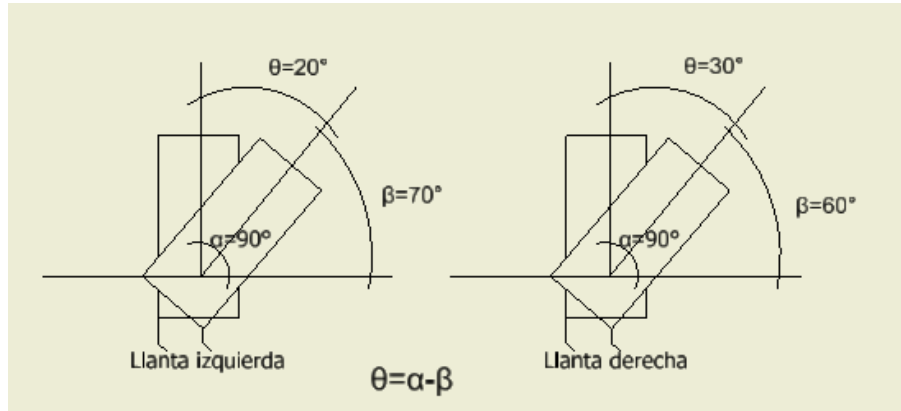
Gráfica comparando los tres aspectos evaluados, distancia, velocidad y tiempo; de esta forma poder comprender como varia uno respecto al otro. Se colocó la prueba 3 y 6 de último para compararlas con las otras cuatro, notando tiempos similares.

Figura 50: Gráfica comportamiento de pruebas de frenado



Se muestra una imagen que ejemplifica el giro de las llantas al hacer un cambio de dirección hacia la derecha, observando los ángulos obtenidos luego de mediciones.

Figura 51: Ángulos de giro



E. DISCUSIÓN

Los mostrados a continuación son los elementos ensamblados en el vehículo, cumpliendo con su función. Estos pueden observarse en las siguientes imágenes, la instalación de la mordaza con el sistema hidráulico purgado y con su respectivo disco colocado en la masa maquinada en conjunto con el tambor y la banda de freno. La otra figura muestra el mecanismo de dirección instalado.

Figura 52: Frenos de disco y banda instalados



Figura 53: Mecanismo de dirección con timón ajustable instalado en el vehículo



Con los elementos mostrados anteriormente instalados y en pleno funcionamiento, se procedió a efectuar las pruebas. Para los frenos se trabajó en el parqueo del Colegio Americano en la Universidad del Valle de Guatemala colocando el vehículo en un punto y aproximadamente a 50 metros de éste se colocó una línea con función de meta para que el conductor pudiera activar los frenos al momento de la llanta delantera estar en contacto con la marca. El tramo recorrido fue en línea recta para poder obtener el máximo de velocidad que el automóvil puede adquirir y evitar pérdidas por giros innecesarios.

Entonces, el piloto aceleraba leve y paulatinamente aumentando la velocidad hasta alcanzar el máximo otorgado por el auto y así llegar al trazo a toda capacidad, 30 km/h según lo estimado, luego frenar hasta que se detenga por completo tomando el tiempo para realizarlo con un cronómetro y luego con una cinta métrica tomar la distancia desde la marca hasta la llanta delantera.

Se trabajaron seis pruebas consecutivas con el fin de adquirir una muestra amplia y no limitarse a un par de resultados, además para poder observar el comportamiento del vehículo durante la evaluación y determinar si influye el tiempo de uso del motor eléctrico y si los componentes reaccionan adecuadamente durante el proceso sin obtener fallos. Se trabajó con tres pilotos y cada uno de ellos efectuó dos de las seis pruebas llevadas a cabo. Lo anterior se hizo con el fin de obtener diferentes respuestas al acelerar y al momento de

tener que activar el freno que se realice según el tipo de conductor y sus reflejos.

Según los datos observados en la Tabla 8 titulada Resultados de frenado, se ve que los datos obtenidos son cercanos a los estimados durante la fase de cálculos. En esta se calculó para una velocidad de 40 km/h, una distancia de frenado en 18 metros, con un tiempo total de detención de 3.24 segundos y una desaceleración cómoda de 3.429 m/s². Entonces viendo los valores, sin tomar en cuenta las pruebas 3 y 6 por su reducción considerada en la velocidad, se puede observar que con 29.5 km/h, se frena en una distancia de 11.2 metros en un tiempo de 3.5 segundos aproximadamente; siendo estos valores dentro del rango esperado según lo calculado.

A esto, puede verse en la Figura 50 nombrada Gráfica comportamiento de pruebas de frenado, en donde se relacionan los tres valores analizados y puede observarse que con forme aumenta la velocidad que debe frenarse, incrementa la distancia, observando que el tiempo resulta ser similar para todas las pruebas.

A lo anterior, se debe tener en cuenta que el tiempo se ve afectado por la reacción y reflejos del conductor puesto que depende de la fuerza y rapidez con que presione el pedal al llegar a la línea de meta y además hacerlo en el momento justo. Lo anterior se puede notar en las dos últimas pruebas, 3 y 6, realizadas a menor velocidad para observar lo descrito. Estas dos pruebas se realizaron a menor velocidad para observar el comportamiento del auto a diferentes velocidades.

En cuanto al sistema de dirección, se obtuvo un funcionamiento positivo ya que el auto cambia de trayectoria al girar el timón. Gracias al principio de Ackerman, encontrado en los tornillos que sostienen a las llantas delanteras, se tiene una diferencia en el ángulo de giro entre ambas llantas, la izquierda con un valor de 20 grados y la derecha de 30 grados.

Los datos anteriormente mencionados se obtuvieron con mediciones en el vehículo terminado. Se asumió una línea recta que atraviesa el vehículo a lo ancho y se consideró que cuando el auto tiene las llantas rectas, es decir que no está girando, se tiene un ángulo de 90 grados. Conociendo lo anterior se cambió la dirección de las llantas y se midió el nuevo valor para luego conseguir el valor para θ , como se observa en la figura siguiente. En cuanto a la fuerza para cambiar la dirección se colocaron tres conductores y estos giraron las llantas y por decisión unánime se determinó que esta es menor a las 25 libras. Este valor puede ser corroborado con un dinamómetro.

Cabe mencionar que en los cálculos se trabajó con una bomba con un diámetro de pistón de 1.5 centímetros, pensando en utilizar solamente una. Por lo anterior, la altura para la palanca que suaviza la fuerza de frenado fue de 55 centímetros. Ahora bien, en el auto se utilizaron dos bombas con 1 centímetro de diámetro de pistón cada una, equivalente a una bomba de 2 cm por lo que la fuerza para frenar se disminuyó y por ello en la práctica fue posible disminuir la altura de la palanca a 30 cm.

VII. DESARROLLO DEL MÓDULO DE CONTROL DE MOTORES

A. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO

1. Elaborar un sistema de encendido automático para el motor de combustión interna cuando la carga de las baterías se agote.
2. Añadir equipo auxiliar al controlador del motor eléctrico para que éste funcione de manera óptima.
3. Implementar un circuito de protección para sensores, computadora, controlador, motor eléctrico y circuitos alternos.
4. Detallar el mantenimiento adecuado que hay que darle al motor eléctrico y su controlador y al módulo de arranque automático.

B. DISEÑO

1. SELECCIÓN DE MOTORES

a. **CLASIFICACIÓN.** Debido a que se trata de un prototipo de un vehículo híbrido, para el motor de la transmisión se procedió a buscar información sobre motores de corriente directa que utilizan carritos de golf y go-carts, siendo estos orientados al ámbito del transporte. Para el arranque del motor de combustión interna se utilizará un motor de arranque (starter). Éste se caracteriza por el alto torque que brinda durante un período corto de tiempo, lo que implica que el consumo de corriente sea elevado.

Como los motores se utilizarán para aplicaciones totalmente distintas, se clasificaron en dos grupos separados:

1) Consumo de corriente continuo: en este grupo se encuentra el motor eléctrico de la transmisión. Debido a que es el motor que mueve el carro, va a estar accionado por largos periodos de tiempo, consumiendo grandes cantidades de corriente.

2) Consumo de corriente instantáneo: el starter se localiza en este grupo. Éste va a consumir grandes cantidades de corriente por un instante. Va a ser utilizado únicamente para el encendido del motor de combustión interna.

Los dos motores a utilizar son BDC, en la Tabla 9 se muestran sus ventajas y desventajas [20].

Tabla 9: Ventajas y desventajas de un motor BDC

Motores BDC	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Alto torque a velocidades bajas • Económicos • Control sencillo • Comportamiento Torque/Velocidad casi lineal 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento periódico requerido • Baja vida útil • Pesados • Eficiencia moderada debido a la fricción de las escobillas • Alta inercia debido a los componentes usados para su construcción • Baja velocidad debido a las escobillas.

b. MOTOR DE CONSUMO DE CORRIENTE CONTINUÓ. El motor consumo de corriente continuo o de transmisión es el encargado de transmitir el movimiento hacia las llantas del vehículo. Debido al peso de este, se necesita un motor de alta potencia que sea capaz de moverlo. Se utilizará un motor que tiene las siguientes especificaciones:

Tabla 10: Ventajas y desventajas de un motor BDC

Característica	Valor
Velocidad:	3,600 rpm
Potencia:	1.5 HP
Voltaje:	36 VDC
Amperios:	35 A
Sistema de control:	Curtis 1204-101

Se escogió este motor por las siguientes razones:

- 1) Cumple con la fuerza necesaria para mover el vehículo.
- 2) Trabaja a un voltaje de 36VDC, que se puede lograr mediante el uso de tres baterías de 12VDC.
- 3) Su velocidad máxima de operación es suficiente para que el vehículo desarrolle altas velocidades.
- 4) Su consumo de corriente no es elevado, lo que implica una mayor duración de la carga de las baterías.
- 5) El motor está diseñado para trabajar en aplicaciones similares, relacionadas con el transporte de vehículos pequeños.
- 6) Ya cuenta con su controlador y acelerador para simplificar el control e instalación.
- 7) El motor se encuentra disponible en la Universidad del Valle de Guatemala, por lo que no es necesario invertir en un motor nuevo.

Figura 54: Motor eléctrico de la transmisión



c. MOTOR DE CONSUMO DE CORRIENTE INSTANTÁNEO. El motor de consumo de corriente instantáneo o motor de arranque, es el encargado de encender el motor de combustión interna. Debido a la alta inercia que se debe romper para lograr el movimiento del pistón del motor, el motor debe ser capaz de generar un alto torque y esto implica un alto consumo de corriente.

El motor a utilizar también es BDC, por lo que tiene las mismas características de la Tabla 11.

El motor de arranque a utilizar tiene las siguientes características:

Tabla 11: Ventajas y desventajas de un motor BDC

Característica	Valor
Voltaje:	12VDC
Amperaje:	30 A
Potencia:	0.5 HP
Velocidad:	Medirla

El motor que se va a utilizar es el que trae el motor de combustión interna de fábrica, por lo que no llevó a cabo un proceso para su selección. El amperaje y la velocidad fueron medidos prácticamente, y la potencia se calculó mediante la siguiente ecuación.

$$P = I * V$$

$$P = 30A * 12V = 360 \text{ Watts}$$

Un caballo de fuerza eléctrico equivale a 746 Watts. Mediante esta conversión se puede obtener el caballaje del motor de arranque que es igual a 0.48 HP, aproximadamente medio caballo de fuerza. Para el control de este motor se empleará un relé que será accionado con un microcontrolador.

2. CONTROLADOR DEL MOTOR DE LA TRANSMISIÓN

a. DESCRIPCIÓN. Después de saber que motor se va a utilizar para impulsar el vehículo, es necesario saber de qué forma se va a controlar la velocidad del motor y la potencia que éste demanda. El control de velocidad se hará por medio de una Modulación de Ancho de Pulso (PWM) o Pulse Width Modulation por sus siglas en inglés. Este dispositivo genera una señal a la cual se le cambia el ciclo de trabajo para poder aumentar o disminuir la velocidad del motor. Esta señal es generada por un microcontrolador u otro dispositivo capaz de lograrla y por medio de un potenciómetro que es movido por el acelerador se hace el cálculo para hacer el respectivo cambio en el ancho del pulso generado. Para controlar la potencia que demanda el motor se utilizan transistores de potencia tipo MOSFET. Estos deben tener capacidad para soportar como mínimo dos veces la potencia que el motor va a generar.

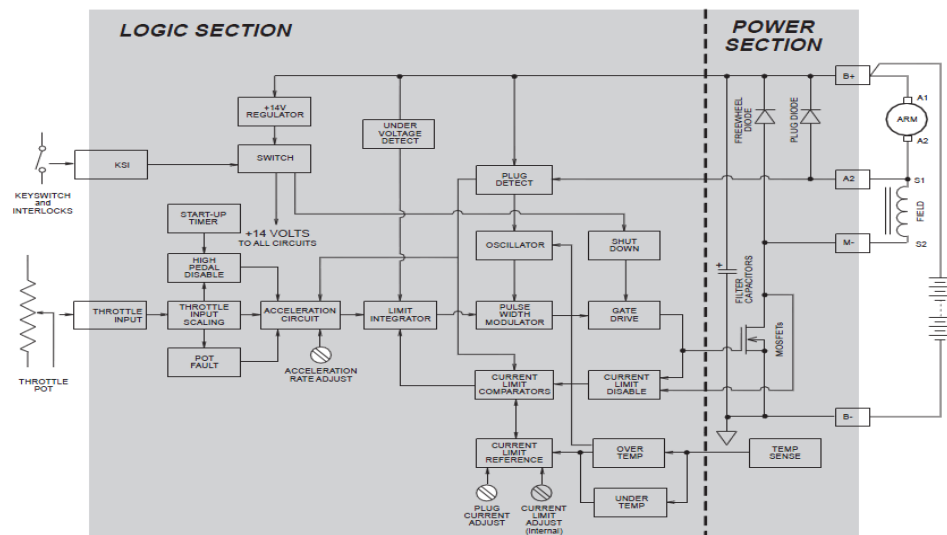
El controlador a utilizar debe tener las siguientes características:

- Ser capaz de controlar motores DC con un consume de corriente de mínimo 70 amperios.

- Soportar el voltaje que exige el motor, en este caso de 36 voltios.
- Tenga la opción de ser controlado con un potenciómetro, que va a ser utilizado como acelerador del vehículo.

Como se mencionaba anteriormente, el motor eléctrico traía consigo su propio controlador que cumple con las características descritas arriba, así como otras más. El controlador es fabricado por la empresa CURTIS y el modelo es el 1204-101. En la Figura 55 se puede observar el diagrama de bloques del controlador.

Figura 55: Diagrama de bloques del controlador CURTIS 1204-101 [27]



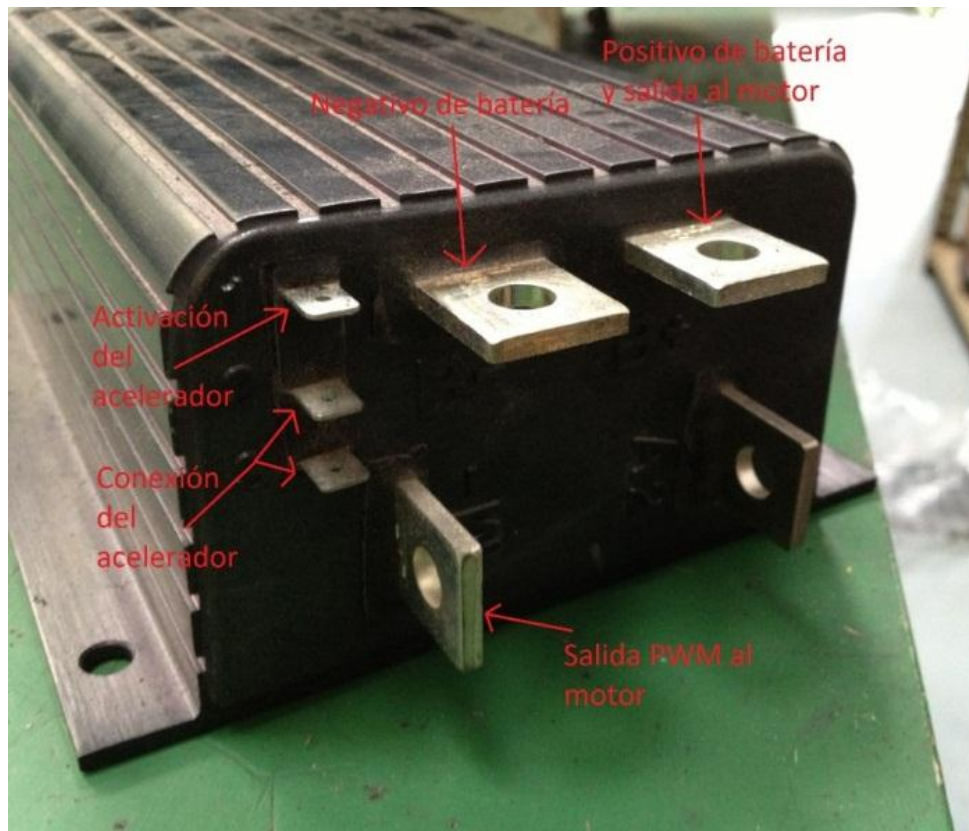
Las terminales del controlador se dividen en alta y baja potencia. En las de alta potencia podemos encontrar:

- Dos terminales para la alimentación.
- Una terminal M1 para la señal PWM hacia el rotor.
- Terminal S2 utilizada únicamente para motores en serie que envía la señal de control hacia la armadura del motor.

En las de baja potencia se encuentran:

- Señal de activación del acelerador.
- Dos terminales del potenciómetro del acelerador.

Figura 56: Posición de todas las terminales en el controlador



b. EQUIPO AUXILIAR. Para que el controlador y motor funcionen de manera óptima juntos, es necesario utilizar equipo auxiliar. Como primer elemento se tiene un contactor que permite el paso de voltaje hacia el controlador. Este debe ser capaz de soportar como mínimo dos veces la corriente nominal del motor y poder ser activado con una señal de baja potencia. Con este contactor se desactiva por completo el controlador y hasta que una persona autorizada tenga la llave electrónica del vehículo, éste puede ser utilizado.

Figura 57: Contactor DC Curtis SW60-6



Como segundo elemento se tiene un relé que desactiva la aceleración del vehículo al momento que se presione el freno. Con éste se previene una excesiva demanda de corriente, ya que si se intenta mover el vehículo con los frenos aplicados, el motor se vería forzado y no sería capaz de mover el vehículo, pudiendo dañar ya sea el controlador o el motor. Este relé es activado con un micro switch ubicado debajo de la bomba de freno.

Figura 58: Relé de activación y desactivación de la aceleración



El último elemento utilizado como equipo auxiliar es un relé que permite invertir la polaridad del motor para cambiar la dirección de giro de éste. El relé utilizado es del tipo doble polo, doble tiro (DPDT) y tiene capacidad para 40 amperios. Se escogió este relé debido lo económico y fácil de instalar que es. Sin embargo la corriente es muy cercana a la que consume el motor. El relé desactiva y activa mediante un botón momentáneo (push button) que va a estar

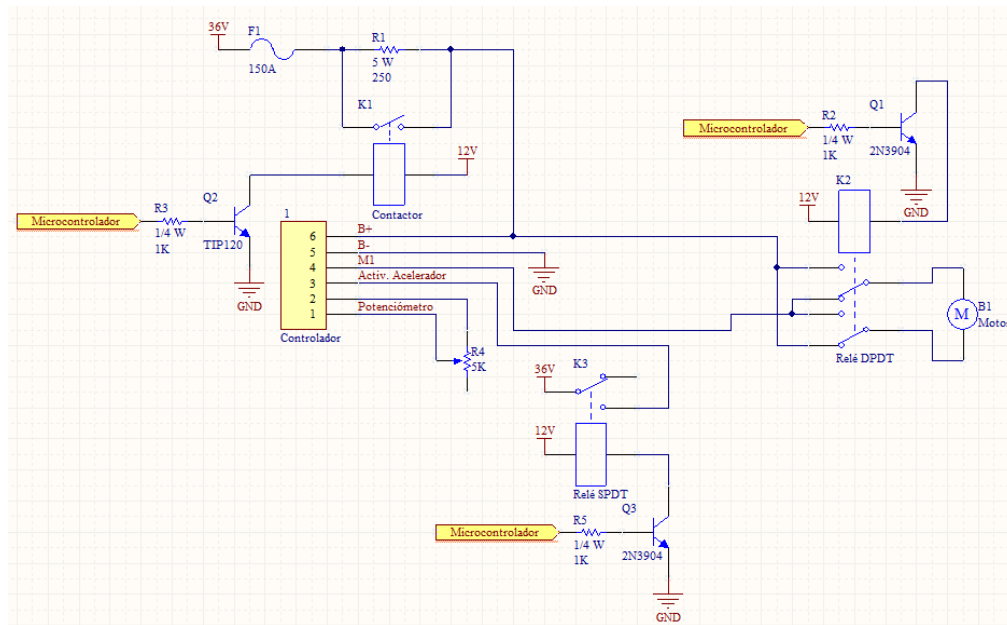
localizado en el tablero del vehículo. Únicamente podrá ser activado cuando se tenga presionado el freno, para prevenir daños en el motor.

Figura 59: Relé de reversa instalado



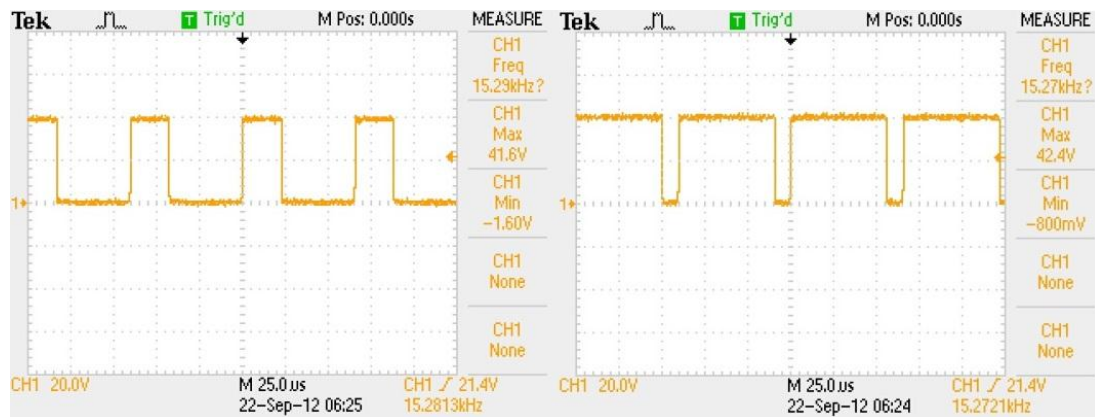
c. CONEXIÓN Para la conexión de las unidades de potencia se utilizó cable calibre 8 AWG. Este tiene capacidad de soportar 55 amperios a 90°C, con cobertor tipo THHN. Para la conexión de los elementos de poca potencia se utilizó cable calibre 14 AWG, comúnmente utilizado en la instalación de bocinas. En la Figura 60 se puede observar un esquemático que muestra la conexión entre el equipo auxiliar y el controlador. El contactor tiene una resistencia en paralelo. Esta ayuda a precargar unos capacitores que tiene internamente el controlador, de lo contrario se generaría un gran arco eléctrico al momento de activar el contactor debido a la carga inmediata de estos. La resistencia también sirve de protección para el controlador, ya que la carga inmediata de los capacitores genera una corriente elevada que puede quemar componentes internos. Las partes que tienen una entrada de “Microcontrolador” son señales que serán controladas por un microcontrolador.

Figura 60: Diagrama de conexión de equipo auxiliar



La señal PWM que genera el controlador tiene una frecuencia de 15 kHz, la cual permite una operación silenciosa y eficiente del motor. En la Figura 61 se puede observar la señal generada.

Figura 61: Dos imágenes de la señal PWM generada a diferentes aceleraciones



3. MÓDULO DE CONTROL

a. **DISEÑO.** El módulo de control está a cargo del equipo auxiliar del controlador y del arranque automático del motor de combustión interna. Para cumplir esta tarea se utilizó un microcontrolador PIC16F84A de Microchip. Éste cuenta con la capacidad necesaria para realizar las funciones que se requieren.

Dentro de las características de este dispositivo podemos encontrar:

- Arquitectura de datos de 8 bits.
- Memoria de programa de 1Kbyte
- Memoria RAM de 68 bytes
- Velocidad de trabajo máxima de 20 MHz
- Un temporizador con escalador (prescaler) programable
- Cuatro fuentes de interrupción
- 25 mA de corriente por cada pin
- 13 puertos de entrada y salida con control individual

Utilizando este dispositivo se logran controlar las señales del relé de encendido y apagado de la aceleración, el relé de reversa, el contactor de activación del controlador DC, el sensor magnético, y la desactivación y el arranque del motor de combustión interna.

El microcontrolador no tiene capacidad de brindarnos una alta corriente en cada pin, como podemos observar en la característica siete descrita anteriormente pues únicamente podemos exigirle un máximo de 25mA para no dañarlo. Es por esta restricción que debemos hacer uso de transistores para activar las bobinas de los relés y el motor de arranque.

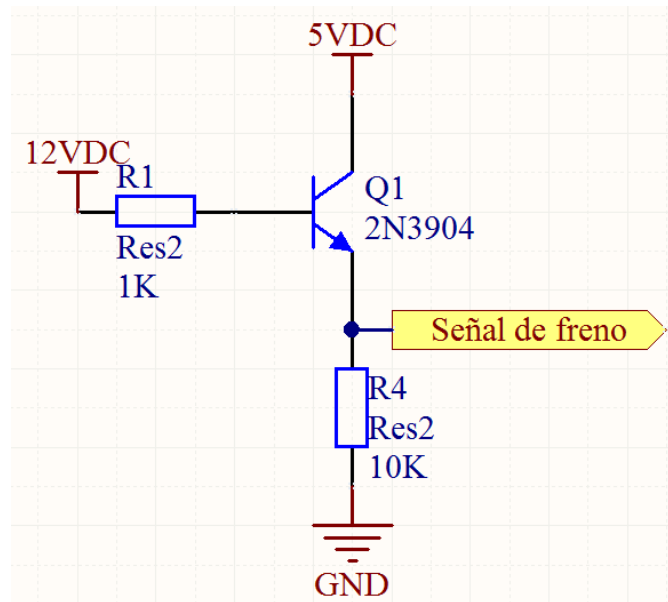
b. **RELÉ DE ACELERACIÓN** .El relé de control de aceleración tiene dos funciones:

- Permitir la aceleración del motor al momento de encender el vehículo.

- Desactivar la aceleración al momento de presionar el freno.

Al igual que el contactor, cuando se encienda el vehículo y se pase la tarjeta electrónica correcta, se recibe una señal de la computadora y se activa el relé. Sin embargo, para prevenir daños en el motor eléctrico se mantiene un controlado el interruptor del freno para desactivar la aceleración al momento que este es activado. Cuando el freno se presiona se permite el paso del voltaje y reciben 12VDC. Este voltaje debe ser disminuido a 5VDC para que pueda ser utilizado con un microcontrolador. Esta reducción de voltaje se hace mediante un transistor BJT 2N3904, utilizando el circuito que se muestra en la Figura 62.

Figura 62: Circuito para disminuir el voltaje de 12VDC a 5VDC



Para controlar la activación y desactivación del relé también se implementó un transistor 3N3904. Este tiene la capacidad necesaria para soportar la corriente requerida por la bobina. Para cumplir con esta tarea se utilizó el transistor en su modo de saturación para que funcione como un interruptor. El transistor debe ser capaz de conducir más de la corriente que la bobina demanda y esto se puede controlar calculando la resistencia que va en la base del transistor. Para esto debemos de saber las características respectivas del transistor, tabuladas a continuación.

Tabla 12: Características del transistor 2N3904 [38]

Transistor 2N3904	
Característica	Valor
Corriente colector (I_c)	200 mA
Voltaje colector-base (V_{CB})	60 V
Voltaje colector-emisor (V_{CE})	40 V
Disipación de potencia (P_{tot})	625 mW
Ganancia de corriente DC (β) @ 30 mA	Aprox. 80

Para que el transistor trabaje en su región activa se debe cumplir con la siguiente condición:

$$I_c < \beta \cdot I_B$$

La corriente de la bobina del relé consume 30mA, por lo que la corriente del colector va a ser la misma. Mediante un cálculo sencillo se obtiene que la corriente en la base debe ser mayor a 375 uA. Con este valor podemos calcular la resistencia, conociendo el voltaje que se va a aplicar en la base, que son 5VDC. La ley de Ohm nos dice que entre más pequeña es la resistencia más corriente se obtiene, por lo que:

$$R < \frac{5V}{375 \mu A} = 13,333\Omega$$

Utilizando una resistencia de 1K Ω logramos activar la bobina del relé.

c. RELÉ DE REVERSA. El relé de reversa nos permite cambiar la polaridad del motor eléctrico, para invertir el giro de este. Para activar este relé se debe cumplir con el requisito de que el freno debe estar presionado. Con el programa escrito se hace un escaneo de esta señal para que al presionar el botón de reversa, el relé no se active si no se cumple con ese requisito. La bobina del relé de reversa consume más corriente que el de aceleración. En este caso es necesario utilizar un transistor que soporte una corriente mayor y el transistor TIP120 cumple las características necesarias.

Tabla 13: Características del transistor TIP120 [37]

Transistor TIP120	
Característica	Valor
Corriente colector (I_c)	5 A
Voltaje colector-base (V_{CB})	60 V
Voltaje colector-emisor (V_{CE})	60 V
Disipación de potencia (P_{tot})	65 W
Ganancia de corriente DC (β) @ 200 mA	Aprox. 900

Este es un transistor Darlington NPN y tiene la característica de estar compuesto por dos transistores BJT. Debido a esto se obtiene una gran ganancia de corriente, permitiéndonos controlar grandes cantidades de corriente en el colector con una corriente relativamente baja en la base. Se calcula de igual forma que un transistor BJT, por lo que se tiene que cumplir de nuevo la condición para el que el transistor no trabaje en la región activa.

De forma práctica se midió que la bobina del relé consume alrededor de 155 mA. Si hacemos el mismo cálculo hecho anteriormente obtenemos que la corriente de la base debe ser mayor a 172 μ A. El voltaje en la base es de 5V. Con la ley de Ohm obtenemos que la resistencia a usar debe ser menor a 29K Ω . Con una resistencia de 10K Ω cumplimos con esta condición y no superamos la

corriente máxima que nos puede dar el microcontrolador, activando satisfactoriamente la bobina.

d. CONTACTOR DEL CONTROLADOR DC. Para que se permita el paso de corriente de las baterías al controlador, es necesario tener un interruptor de alta potencia. El contactor DC es el interruptor encargado de realizar esta tarea. Se utilizó el contactor SW60-6, que soporta un amperaje de 80A y tiene una bobina de activación de 36 voltios. El hecho de que la bobina sea de 36 voltios ayuda a que la corriente que circula por ésta sea pequeña y el contactor pudiera estar activado por largos periodos de tiempo sin calentarse.

Como la bobina consume poco amperaje y un voltaje relativamente bajo, fue posible utilizar un transistor TIP120 para poder activarlo con el MCU. La resistencia a utilizar en el transistor se calcula de igual forma que las anteriores. La corriente que consume la bobina es de 200mA a 36 voltios. Se utilizó un valor de beta igual a 900, similar al utilizado en el relé de reversa porque la corriente que consumen es similar. Al realizar el cálculo, la resistencia a utilizar debe ser menor a 22.5k Ω . Se utilizó una resistencia de 10k Ω , la cual es suficiente para que el transistor se sature.

e. RELÉ DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA. Es necesario tener la opción de apagar el motor de combustión interna cuando las baterías ya se hayan cargado y activarlo para poder encenderlo. Para lograr esto se hizo uso de un relé que impide el paso de corriente para prevenir que llegue chispa a la bujía del motor y nos permita apagarlo. Por el otro lado, para encenderlo se activa el relé y se permite el paso de corriente para generar la chispa en la bujía. El relé que se utilizó es igual al utilizado en el control de la aceleración, por lo que se utilizó un transistor 2N3904 con una resistencia de 1K Ω para activar la bobina.

Figura 63: Relé de activación y desactivación del motor de combustión interna

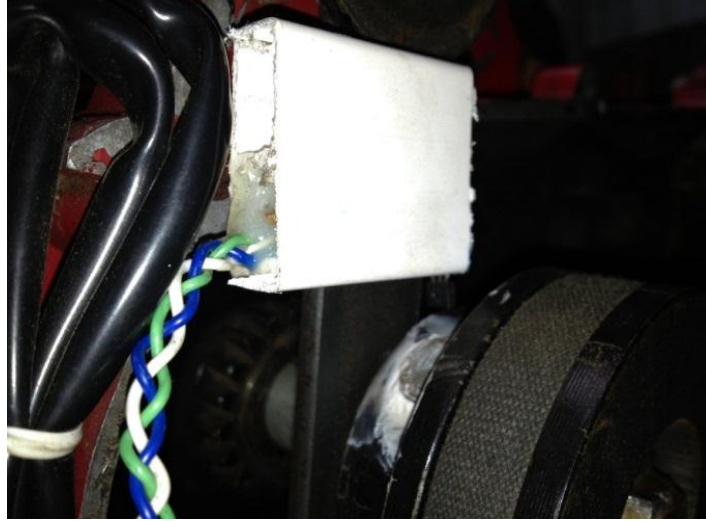


El cable en el cual se permite e impide el paso de corriente es un cable de señal que permite la descarga del capacitor utilizado para generar la chispa en la bujía. Por estas características no se trabaja con corrientes elevadas y el relé tiene la capacidad necesaria de funcionar sin dañarse.

f. SENSOR MAGNÉTICO. Se debe saber si el motor de combustión interna arrancó o no. Esto se logró mediante el uso de un sensor magnético ubicado cerca del eje del motor. Se utilizó un imán que fue puesto en la polea del eje para que al momento que este girara, pasara cerca del sensor, formando una señal cuadrada apropiada para utilizar en el microcontrolador. En sensor que se decidió utilizar es el DN6851, de efecto Hall.

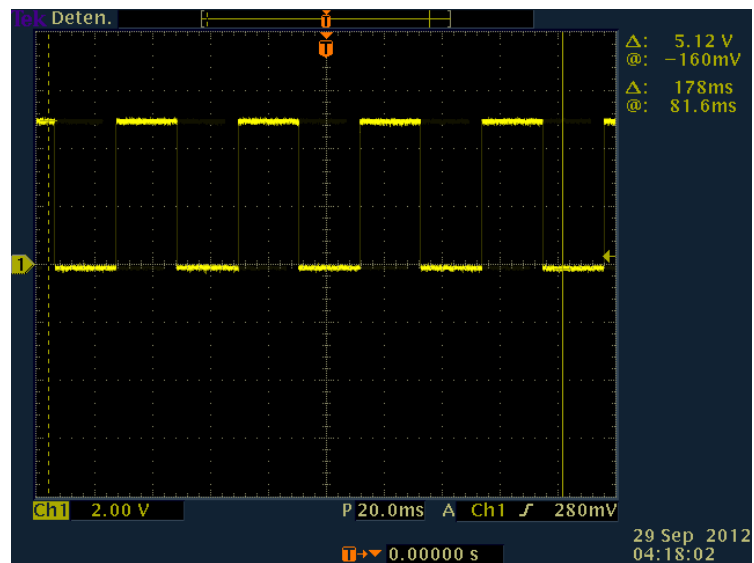
El sensor cuenta con tres terminales, voltaje, tierra y salida. Es relativamente sencillo de utilizar, no se necesita de dispositivos auxiliares para que funcione y se obtiene una lectura apropiada con imanes que tengan un índice de Gauss de 200 o simplemente que tengan una buena atracción hacia los metales. En la Figura 64 se puede observar el sensor y el imán instalados en el vehículo, cerca del eje de salida del motor.

Figura 64: Sensor e imán puestos en el motor de combustión.



En la Figura 65 se puede observar la señal que genera el sensor.

Figura 65: Señal cuadrada generada por el sensor magnético



g. ARRANQUE DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA. En un vehículo híbrido en serie a escala real se cuenta con la opción de recargar las baterías cuando estas ya no tienen suficiente energía para alimentar el motor eléctrico. Con un motor de combustión interna que mueve un generador eléctrico se logran cargar las baterías y alimentar el motor eléctrico sin necesidad de detener el movimiento del vehículo. En estos carros, el motor arranca automáticamente y no es necesario que el piloto tenga que presionar un botón para arrancarlo.

En este megaproyecto se hizo lo mismo con el motor que mueve el alternador que recarga las baterías. Mediante una señal de la computadora indicando que las baterías se han agotado, se lleva a cabo el siguiente proceso para arrancar el motor,

- 1) Se activa un relé por un segundo para permitir la activación del motor de arranque y encender el motor.
- 2) Se recibe y analiza la lectura del sensor magnético para saber si el motor arrancó. Esta lectura nos indica si el eje está girando.
- 3) Si el eje no está girando seguimos con el paso 4. Si el eje si está girando nos vamos al paso 7.
- 4) Enviamos una segunda señal de arranque para intentar encender el motor otra vez y mediante la lectura del sensor magnético vemos si el eje se mantuvo girando.
- 5) Si el motor arrancó nos vamos al paso 7, de lo contrario tenemos una última oportunidad para arrancar el motor.
- 6) Si el motor arrancó nos vamos al paso 7, de lo contrario enviamos una señal a la computadora principal indicando que hay problemas en el motor y que este no logró arrancar.

7) Salimos del proceso de arranque y regresamos al proceso principal del programa.

Este proceso logra mediante el uso de un microcontrolador (MCU), en el cual se escribe un programa que contiene toda la información necesaria para realizarlo, utilizando un oscilador de 10MHz por razones de disponibilidad. El programa realizado fue escrito en mikroC, un compilador del lenguaje C orientado a microcontroladores. El programa escrito para el módulo de control puede ser observado en el Anexo A.

El motor de arranque (starter) consume una corriente nominal de 30 amperios, medida prácticamente y para activarlo se utilizó un relé que soporta 40 amperios. La bobina de este relé es controlada por un transistor BJT TIP120. La corriente que consume la bobina es de 170mA, valor muy similar al que consume la bobina del relé de reversa, por lo que este transistor tiene la capacidad suficiente de accionar la bobina sin dañarse.

Haciendo los mismos cálculos hechos con los relés anteriores, se determinó que para saturar el transistor y que este accione la bobina, se puede utilizar una resistencia de 10K Ω .

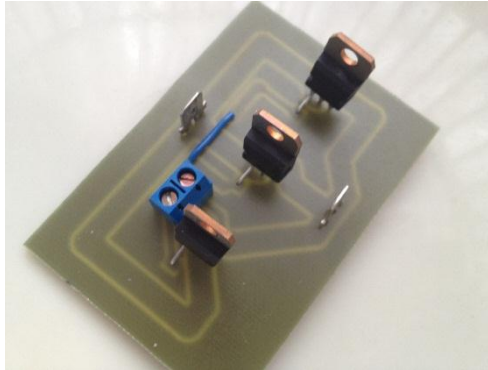
Figura 66: Relé utilizado para activar el “starter”



La idea original para realizar el accionamiento del “starter” era la de utilizar transistores IGBT en lugar de un relé. Estos transistores son una mezcla del transistor MOSFET y el BJT. Debido a esta característica tienen la capacidad de poder ser saturados con poco voltaje y conducir una gran cantidad de corriente.

La Figura 67 muestra la placa original con tres transistores IGBT soldados para hacer el accionamiento.

Figura 67: Placa con transistores IGBT



4. DISTRIBUCIÓN DE POTENCIAL ELÉCTRICO Y PROTECCIÓN DE CIRCUITOS. La distribución de potencial eléctrico consiste en alimentar todos los circuitos eléctricos y electrónicos que vayan a necesitar de una fuente de voltaje, que en este caso son las baterías. Esto se debe hacer con el objetivo de resguardar la integridad de los circuitos y de los usuarios que utilicen el vehículo. Debido a esto se deben tomar ciertas consideraciones de precaución.

- Utilizar el calibre de cable apropiado para todos los dispositivos a alimentar, dependiendo de la corriente que estos consuman.
- Hacer uso de dispositivos de protección (fusibles) para toda la circuitería.
- Utilizar aislantes, terminales y borneras para prevenir el contacto físico entre cables, previniendo cortos y asegurando la seguridad del usuario.

En el vehículo se utilizan distintos potenciales de voltaje, los cuales deben de ser generados de alguna forma. Se cuenta con tres fuentes de alimentación, de las cuales puede ser obtenido voltaje:

- Baterías para motor eléctrico (36VDC)
- Batería para circuitería (12VDC)
- Batería para amplificadores operacionales (-12VDC)

Se necesita de otros dos voltajes, el primero es de 12VDC y será obtenido de las baterías para motor eléctrico y el segundo es de 5VDC que se obtendrá de la batería para circuitería.

5. DESARROLLO DE PLACAS IMPRESAS (PCB). Una vez se han probado todos los dispositivos independientemente, fue necesario diseñar y fabricar tres PCB. Una para el módulo de control, otra para el relé del motor de arranque y una última la distribución del voltaje. Se hizo uso del programa Altium Designer 10® como herramienta principal para diseñar las placas. El proceso para diseñar un PCB es el siguiente:

- 1) Realizar un esquemático en el cual se agregan todos los componentes necesarios para que los circuitos puedan funcionar.
- 2) Se genera un PCB utilizando el PCB Wizard (herramienta de Altium), en la cual se especifica el tamaño de la placa, el tipo de componentes a utilizar, el tamaño de las pistas, agujeros, pads y la distancia entre pistas. Estos son los parámetros que la CNC requiere para que funcione bien.
- 3) Se agrega el PCB al proyecto y se importan todos los elementos del esquemático hecho en el paso 1.
- 4) Se posicionan todos los componentes manualmente o automáticamente usando el Auto-Placer. Es preferible hacerlo manualmente, ya que de esta ubican en su mejor posición posible.
- 5) Se hacen las pistas para unir los pines de todos los componentes. Esta tarea puede ser hecha manualmente o usando la opción de Auto-

Route. Si el circuito no es complejo es preferible hacer el ruteo manualmente.

6) Hacer una revisión del PCB usando la herramienta Design-Rule Check para asegurarse que no haya ningún problema. En el caso que haya uno, se deben corregir hasta que no se obtenga ninguno.

7) Mandar a fabricar el PCB y soldar todos los componentes.

6. MANTENIMIENTO PARA EL MÓDULO DE CONTROL, CONTROLADOR Y MOTOR ELÉCTRICO Para asegurar el buen funcionamiento de módulo de control, el controlador y el motor eléctrico, es necesario realizar el mantenimiento adecuado para prevenir fallas y evitar accidentes cuando se utilice el vehículo. El mantenimiento consiste en la revisión de todo el equipo y la conservación de este, asegurando un buen funcionamiento de todos los componentes.

Con el objetivo de lograr esto, es necesario seguir una serie de pasos que tienen el objetivo de cumplir con lo mencionado en el párrafo anterior.

C. METODOLOGÍA

Para simplificar la realización del módulo de control de motores, se pueden dividir las tareas en las siguientes secciones: selección de motores, controlador del motor de la transmisión, módulo de control, distribución de potencial eléctrico y protección de circuitos, desarrollo de placas impresas y por último el mantenimiento para el módulo de control, controlador y motor eléctrico. Para cumplir con estas labores se pidió ayuda a un asesor y catedráticos de la Universidad del Valle de Guatemala.

Como punto de partida se escogió el motor eléctrico a utilizar y se hicieron pruebas simples del controlador del motor eléctrico para verificar su correcto funcionamiento, aprender el funcionamiento del mismo y se investigó qué equipo auxiliar se le puede adaptar. Se utilizó el apoyo de manuales de controladores de motores para aprender más acerca de su funcionamiento. También se

investigaron diversas alternativas para construir el módulo de arranque automático del motor de combustión interna mediante la ayuda del asesor y los catedráticos, y búsquedas en Internet.

Teniendo una idea clara de cómo se realizaría el arranque automático del motor, se hizo un diseño preliminar del circuito, incluyendo el equipo auxiliar para el controlador. Con todos los componentes funcionando se cotizó el equipo auxiliar y los elementos del circuito de arranque en tiendas de la ciudad de Guatemala. En caso de que no estuvieran disponibles localmente se importaron.

Con todos los dispositivos adquiridos, en el laboratorio de electrónica de la UVG se hicieron pruebas de todas las partes de forma independiente para asegurarse que trabajaran de forma correcta. Una vez esto se completó se procedió a la elaboración del circuito de distribución de potencial eléctrico y protección de circuitos. Para lograr esto, fue necesario que el módulo de sensores y la computadora central ya fueran probados en conjunto en un protoboard para obtener el amperaje de los distintos voltajes que consumen y de esta manera se calcularon los fusibles necesarios.

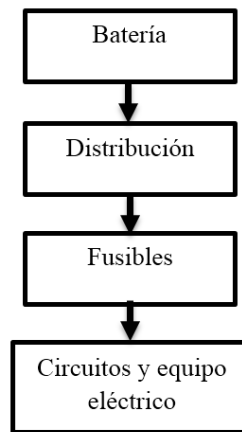
Después de haber diseñado y probado el módulo de control, se elaboraron las tarjetas de circuito impreso (PCB). Estas se diseñaron utilizando software especial y luego se generaron los archivos necesarios para que puedan fabricarse utilizando la CNC disponible en la Universidad del Valle de Guatemala. Finalmente se debe realizar un proceso para hacerle el mantenimiento adecuado al módulo de control, controlador y el motor eléctrico.

Existía la posibilidad que durante la elaboración de los circuitos y las pruebas de los equipos en el vehículo surgieran problemas o cambios que podían estar bajo nuestro control o fuera de este. En caso de la aparición de un problema de estos, fue necesario respaldarse por catedráticos o personas capacitadas para solucionarlo de la mejor manera posible.

D. RESULTADOS

1. DISTRIBUCIÓN DE POTENCIAL ELÉCTRICO Y PROTECCIÓN DE CIRCUITOS. Como bien se mencionaba anteriormente, la distribución del potencial debía realizarse de forma segura, para lo cual debe haber una etapa de seguridad entre la batería y los circuitos y dispositivos eléctricos. En la Figura 68 podemos ver la forma básica de cómo se distribuyó el potencial en el vehículo.

Figura 68: Organización del sistema de distribución de potencial



Para poder distribuir el voltaje y saber que dispositivos alimentar con los diferentes voltajes, fue necesario clasificarlos de la siguiente forma:

Tabla 14: Clasificación de los distintos voltajes a utilizar

Voltajes a utilizar	
Voltaje	Elementos que lo utilizan
36VDC	Controlador DC, contactor, motor electrico
12VDC (Baterías del motor electrico)	Motor de arranque
12VDC (Circuiteria)	Sensores, amplificadores operacionales, relés, entre otros.
5VDC	Circuitos electronicos
-12VDC	Amplificadores operacionales

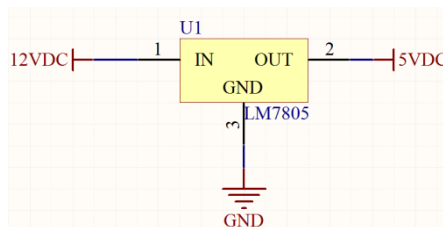
Se utilizaron dos fuentes de 12VDC diferentes porque el motor de arranque y las luces consumen una alta cantidad de corriente que puede dañar el equipo electrónico, debido a esto se utilizó una de las tres baterías conectadas en serie utilizadas para el motor eléctrico.

La batería de 12VDC utilizada para la circuitería es una batería de ácido-plomo sellada, libre de mantenimiento. Se utilizó esta batería ya que se tenía disponible para ser utilizada en el vehículo. La batería de -12VDC también es de ácido-plomo, libre de mantenimiento.

Esta última es utilizada únicamente como referencia para los amplificadores operacionales, y no alimenta ningún otro elemento en el vehículo, por lo que se optó por no utilizar un fusible en este caso.

Para generar los 5VDC se utilizaron reguladores de voltaje del tipo LM7805. Estos están capacitados para manejar hasta un amperio de corriente directa. Se utilizarán tres reguladores: para la computadora central, para el módulo de sensores, y para el módulo de control de equipo auxiliar y motor de arranque. La Figura 69 muestra el diagrama de conexión del regulador.

Figura 69: Configuración de conexión de un LM7805



Para saber qué fusibles debían ser utilizados fue necesario medir prácticamente los amperajes que consumen los distintos dispositivos que son necesarios proteger en el vehículo. En la Tabla 15 se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 15: Mediciones prácticas de corriente

Medición práctica de corriente			
Dispositivo	Voltaje	Corriente medida	Fusible a utilizar
Computadora central	5VDC	350mA	1 A
Módulo de sensores	5VDC, 12VDC	200mA, 500mA	1 A, 1A
Módulo de control de equipo auxiliar	12VDC	700 mA	1 A
Motor de arranque	12VDC	30 A	40 A
Motor eléctrico	36VDC	15 A – 70 A	150 A
Iluminación	12VDC	10 A	15 A

En la Figura 70 se aprecia el circuito para la distribución de los voltajes que utiliza el equipo electrónico que son 12VDC, 5VDC y -12VDC. Se implementó un circuito de esta manera para poder fabricar una placa impresa y de esta forma tener todos los fusibles relacionados con este equipo en un solo lugar.

Figura 70: Esquemático de distribución de voltajes para la circuitería.

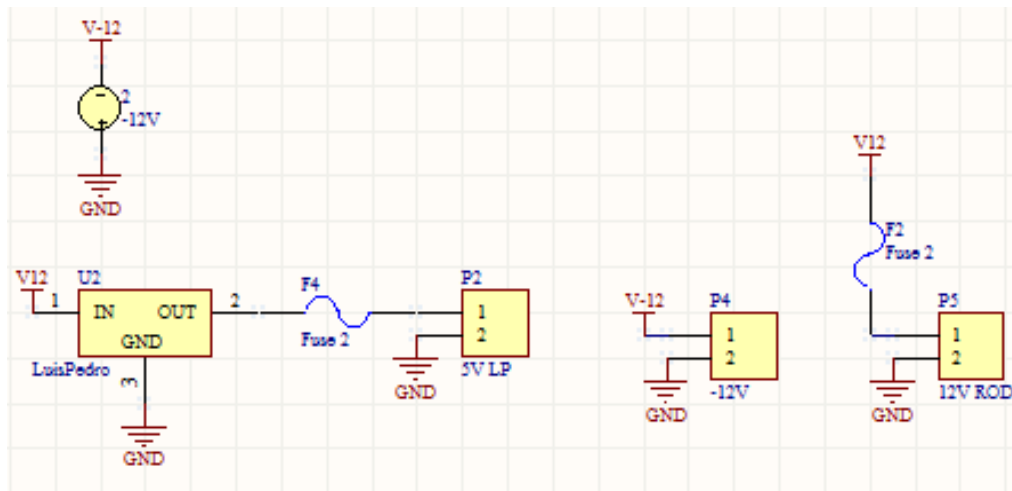


Figura 71: Lectura de una medición de corriente durante una de las pruebas



2. DESARROLLO DE PLACAS IMPRESAS (PCB). Se hicieron los tres diferentes esquemáticos del módulo de control, arranque del motor de combustión y distribución de voltajes. Una vez terminados estos se pudieron diseñar las PCB. Cada una con las siguientes características:

Tabla 16: Características de las placas impresas

PCB	Característica	Valor
Módulo de control	Ancho de tracks	30 mil
	Ancho de pads	70 mil para elementos de poca potencia, 90 mil para transistores y reguladores, 100 mil para los relés
	Clearance	30 mil
	Agujeros	32 mil para elementos de poca potencia y 40 mil para transistores, regulador y relés
Arranque de motor de combustión	Ancho de tracks	65 mil para corriente de relé, 30 mil para señal de control
	Ancho de pads	100 mil para transistor y bornera, y 200 mil para terminales del relé
	Clearance	30 mil
	Agujeros	40 mil para transistor y 60 mil para terminales
Distribución de voltaje	Ancho de tracks	80 mil y 40 mil para -12VDC
	Ancho de pads	100 mil
	Clearance	30 mil
	Agujeros	40 mil

Figura 74: Esquemático de la distribución del potencial eléctrico

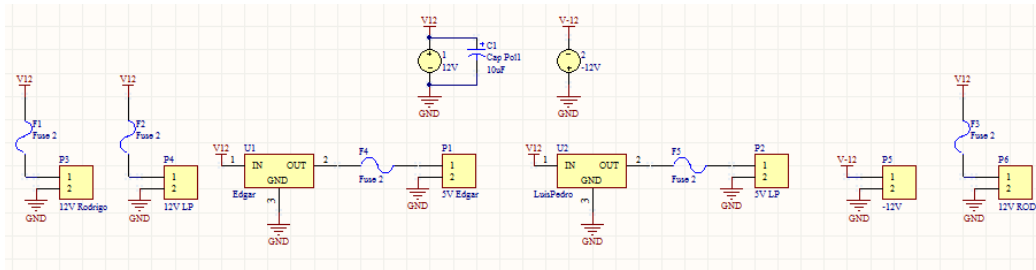


Figura 75: PCB del módulo de control

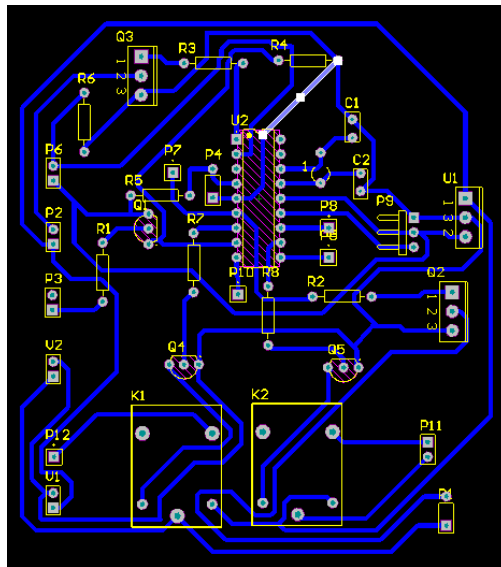


Figura 76: PCB de distribución de potencial eléctrico

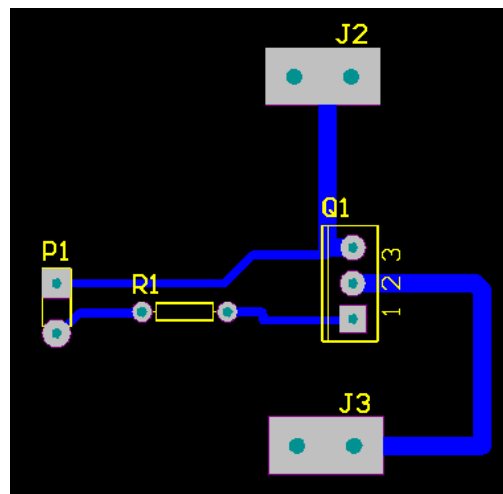


Figura 77: PCB del accionamiento de la bobina del relé del starter

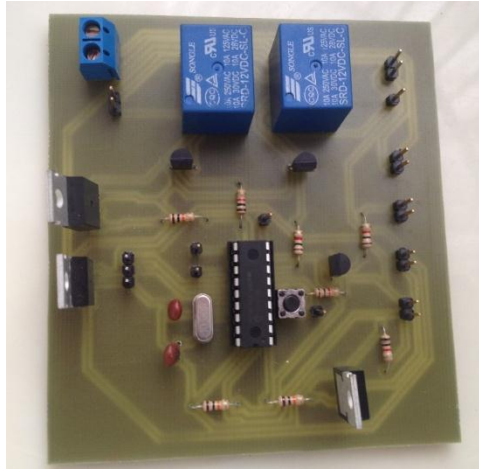
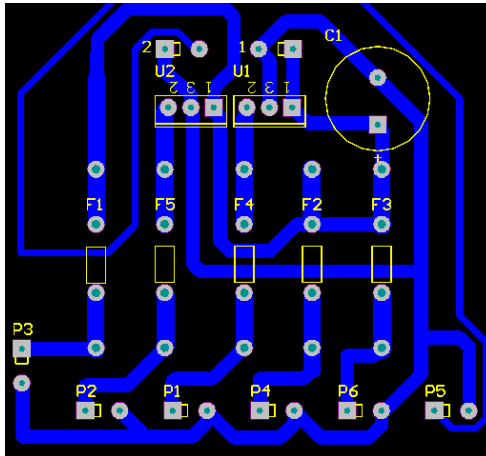


Figura 78: Placa de control con todos los dispositivos soldados



3. MANTENIMIENTO PARA EL MÓDULO DE CONTROL, CONTROLADOR Y MOTOR ELÉCTRICO. Es necesario realizar el correcto mantenimiento para cada una de las partes que conforman al módulo de control de motores, y para ello se hicieron tres diferentes procedimientos para asegurar el buen funcionamiento del vehículo.

a. Mantenimiento para el módulo de control:

1) Desconectar todas las baterías del vehículo para prevenir un corto eléctrico o una electrocución.

2) Revisar todas las conexiones de cables que salen del controlador hacia todos los componentes auxiliares. Se debe revisar que los cables no estén flojos, que no haya formación de sarro y que todos los componentes estén bien conectados.

3) Si algún cable se encuentra en mal estado, mal conectado o con un falso contacto, es necesario hacer la reparación necesaria para asegurarse que todo funcione correctamente.

4) En el caso que el módulo de control se encuentre sucio, se debe hacer una limpieza utilizando aire comprimido libre de humedad. Con esto nos aseguramos que polvo u otras partículas no dañen los componentes.

5) Hacer una revisión del relé de reversa, quitando la tapadera y revisando que en los contactos no haya formación de sarro o de carbón. En el caso que se encuentre una de estas dos, es necesario consultar a un especialista en el relé para hacerle su respectiva limpieza.

6) Si por dentro el relé cuenta con acumulación de polvo, se puede utilizar aire comprimido para limpiarlo y se vuelve a poner la tapadera.

7) Después de que todo ha sido revisado, se pueden volver a conectar las baterías del vehículo.

b. Mantenimiento para el controlador:

1) Desconectar todas las baterías del vehículo para prevenir un corto eléctrico o una electrocución.

2) Revisar que los cables provenientes del contactor y el fusible estén bien conectados. Estos no deben estar flojos y deben estar correctamente conectados a sus terminales para prevenir un corto debido a cables incorrectamente conectados.

3) Si algún cable del fusible o contactor está mal conectado es necesario hacer su debida reparación para que el controlador funcione correctamente.

4) En seguida se procede a revisar el acelerador y los cables provenientes de este. Al igual que los demás cables, estos no deben estar flojos, de lo contrario no se va a tener una buena lectura del acelerador.

5) Si se encuentran mal conectados o flojos, es necesario hacer su respectiva reparación para asegurar el buen funcionamiento del controlador.

6) En seguida se debe revisar el acelerador. Este no debe estar flojo, debe tener correctamente puesto el resorte para que el pedal regrese. El potenciómetro interno debe estar fijo para que la lectura que llega al controlador sea la correcta.

Figura 79: Posición correcta del resorte y varilla del acelerador



7) En el caso que el acelerador esté flojo, se deben apretar los dos tornillos que lo sujetan al chasis del automóvil. El resorte debe estar conectado correctamente al pedal y sujetado en el medio de la barra ubicada en el acelerador. Si el potenciómetro se encuentra flojo, es

necesario consultar a un especialista para que quede ubicado en su posición correcta.

8) Luego se deben revisar los cables que llegan al relé que controla el giro del motor. En este caso también nos tenemos que asegurar que los cables conectados en el controlador y el relé no estén flojos y estén bien puestos en sus respectivas terminales. De lo contrario es necesario hacer su respectiva reparación o simplemente apretar los tornillos que los sujetan.

9) Por último debemos revisar que el cable que activa la aceleración del automóvil esté bien conectado, de lo contrario es necesario hacer la reparación que se hace con todos los cables.

10) Después que todos los elementos han sido correctamente inspeccionados y no hay ningún problema, se pueden volver a conectar todas las baterías.

c. Mantenimiento para el motor eléctrico:

1) Desconectar todas las baterías del vehículo para prevenir un corto eléctrico o una electrocución.

2) Desconectar los dos cables posicionados detrás del motor y hacer su respectiva revisión para que no estén flojos, en caso contrario repararlos.

3) Remover las dos abrazaderas que sujetan el motor a su base.

4) Levantar el motor por la parte de atrás para poder remover la cadena del piñón.

5) Quitar el motor de la base y ponerlo en un lugar seguro.

6) Girar el eje con la mano con el objetivo de revisar que los cojinetes giren de manera libre y no se traben cuando el eje se hace girar. Si

esto sucede, es necesario consultar a un especialista para que se realice el cambio de cojinetes.

7) En seguida se deben inspeccionar las escobillas. Para esto se deben remover las dos tapaderas plásticas ubicadas en la parte de atrás del motor.

8) Una vez se han removido, se deben quitar los dos tornillos que sujetan las terminales de estas. Luego se debe levantar con la ayuda de una pinza el resorte que empuja las escobillas hacia abajo y removerlas.

9) Las escobillas deben tener una longitud mayor a un centímetro para evitar que el metal llegue a topar con el motor y éste se dañe. En el caso que éste sea el caso, deben ser remplazadas.

10) Luego se debe volver a levantar el resorte para poder meter las escobillas de regreso y sujetarlas de nuevo en su terminal. Se vuelven a poner las tapaderas y se sujetan con sus tornillos.

11) Poner de nuevo el motor en la base del vehículo, levantándolo por la parte de atrás para poner la cadena en el piñón.

12) Se debe alinear con la vista el piñón del motor con el sprocket ubicado en el eje de transmisión.

13) Se vuelven a poner las abrazaderas y se sujetan con sus tornillos. Estas deben tener su respectivo material aislante.

14) Se aflojan los opresores del piñón y con la ayuda de una regla o una escuadra se debe alinear correctamente con el sprocket de la transmisión, para asegurar el correcto funcionamiento de la cadena y prevenir accidentes cuando se haga girar el eje del motor.

15) Una vez se han alineado, se vuelven a apretar los opresores y se conectan de nuevo los cables de alimentación del motor.

16) Si la cadena ha quedado floja es necesario subir el motor utilizando los tornillos ajustables puestos en la base.

17) Para ajustarlo, es necesario subir la base de forma pareja, hasta que la cadena haya quedado perfectamente ajustada y finalmente apretar las tuercas para fijar la base.

18) Una vez todo se ha revisado correctamente y no hay ningún problema, se pueden volver a conectar todas las baterías.

E. DISCUSIÓN

1. SELECCIÓN DE MOTORES. Se hizo una búsqueda inicial de motores utilizados para el movimiento de vehículos pequeños y vehículos de golf, los cuales son conocidos por utilizar motores eléctricos. Mediante una búsqueda exhaustiva se encontraron diferentes motores que podían funcionar para el prototipo del vehículo, pero los precios eran elevados. Así mismo se tenía conocimiento previo de que anteriormente en la Universidad ya había sido construido un vehículo eléctrico de tres ruedas. Afortunadamente, la Universidad contaba con motores eléctricos de corriente directa en existencia, los cuales habían sido utilizados para el vehículo mencionado antes. Debido a esto, se llegó a la conclusión que el motor tenía la suficiente potencia para mover un automóvil, simplemente había que calcular la relación de los sprocket necesaria para que el motor no excediera la corriente para la cual fue diseñado, sin darle mucha importancia a la velocidad a la cual se desplazara el vehículo.

Una gran ventaja es que el motor ya cuenta con su controlador de velocidad y acelerador, por lo que no fue necesario fabricar uno desde cero.

Se hicieron mediciones para saber la corriente nominal que consumía el motor de arranque (starter) y con base en este resultado se seleccionó un relé que soportara una corriente nominal mayor a la que éste consume.

2. CONTROLADOR DEL MOTOR DE LA TRANSMISIÓN. Se realizaron pruebas satisfactorias del controlador CURTIS 1204-101 que muestran el buen

funcionamiento del controlador y la alta resistencia al consumo de corriente que tiene el motor. El controlador soporta una corriente de 175 amperios, la cual es cinco veces la corriente nominal que consume el motor. La conexión del controlador es sencilla y no fue problema alguno para la realización de las pruebas.

El equipo auxiliar conectado al controlador se controla mediante el módulo de control y durante las pruebas se observaron ciertos fallos en la selección de uno de los componentes, el relé de reversa. El relé está diseñado para únicamente 40 amperios, valor muy cercano al límite que soporta el motor eléctrico. Debido a esto el relé tiende a calentarse y en determinado momento debido a la temperatura tiende a fallar. Para prevenir este incremento de temperatura se hizo uso de un ventilador, el cual ayudó a bajarle notablemente la temperatura, previniendo fallos en este.

En un futuro, es recomendable hacer uso de dos contactores del tipo un polo, doble tiro (SPDT) o un solo contactor del tipo doble polo, doble tiro (DPDT), ya que estos soportan corrientes más elevadas, pero debido a falta de recursos no fue posible utilizarlos en esta fase del proyecto.

Todos los demás componentes conectados al controlador no dieron problema alguno, el equipo mostró un buen comportamiento tanto bajo carga como sin carga.

3. MÓDULO DE CONTROL. El correcto desarrollo del módulo de control se ve reflejado en el buen funcionamiento del vehículo. Este módulo es de gran importancia, ya que sin él, el vehículo no funcionaría de la mejor forma posible. Existe el riesgo que el motor se queme si se acelera con el freno presionado, para lo cual se tiene el relé de aceleración, que nos ayuda a desactivar la aceleración en este caso. También se desea que no se pueda acelerar cuando el carro está apagado, y para lograr esto se utilizó el contactor.

El programa que se hizo es corto y eficiente dada la simplicidad del módulo y la poca cantidad de dispositivos y señales que se deben controlar. También fue

capaz de obedecer las señales brindadas por la computadora central y el usuario del vehículo sin ningún problema. El microcontrolador PIC16F84A fue capaz de ejecutar satisfactoriamente el programa y las entradas y salidas disponibles fueron suficientes para controlar el equipo auxiliar. Como no se trabaja con señales analógicas ni a altas frecuencias, no se tuvieron problemas de ruido y de transmisión de señales parásitas y el hecho de que el controlador del motor eléctrico este controlado por el controlador DC ayuda a que este no inyecte cantidades significativas de ruido.

Durante las pruebas hechas con el vehículo en movimiento, se notó que la corriente generada por el motor eléctrico afecta notablemente al relé de reversa, que únicamente soporta 40 amperios. Se escogió este relé porque se pretendía que la corriente que consumía el motor eléctrico no sobrepasara los 30 amperios, pero debido a la carencia de un diferencial en el eje trasero, la fricción al girar es muy elevada, haciendo que la corriente consumida con el motor se dispare y ocasionando el calentamiento del relé. Para corregir este problema se puso un ventilador de alta velocidad encima de la tapadera del relé y después de diversas pruebas, se notó que este ya no se calentaba aun con corrientes cercanas a los 40 amperios.

El relé utilizado para el arranque del motor soporta una corriente de 40 amperios. Este valor es muy cercano a los 30 amperios que consume el starter. Sin embargo, como este es activado únicamente por un segundo, no se observaron problemas de calentamiento en las terminales, y ningún mal funcionamiento después de varios intentos de arranque. La idea original de utilizar transistores IGBT para accionar el starter del motor de combustión interna no fue satisfactoria. Al momento de mandar la señal de activación los transistores no lograron transmitir la potencia necesaria para activarlo. Si se desean utilizar transistores se debe examinar mejor la placa que se va a utilizar, el tamaño de sus pistas, el tipo de transistores a utilizar y asegurarse que al enviar la señal de activación los transistores se saturen. Para hacer esto se requería de más tiempo y durante la elaboración del proyecto ya no se contaba

con él, por lo que se optó por la manera más segura de utilizar un relé que se activa de una manera más sencilla y se asegura que el starter si se va a activar.

El relé del motor de combustión interna no mostró perturbaciones debido al cable escogido para hacer el apagado y encendido del motor, funcionó perfectamente. El sensor magnético también funcionó bien, a pesar de la alta temperatura y vibraciones generadas por el motor.

A pesar de la temperatura y vibraciones generadas por el motor de combustión interna, el sensor de efecto Hall no mostró ninguna perturbación en su señal generada, brindando siempre una señal adecuada al microcontrolador para saber si el motor arrancó o no.

Todos los dispositivos utilizados como equipo auxiliar funcionaron correctamente y después de todas las pruebas satisfactorias, se pudo diseñar la PCB para poder ponerlo todo unido en una placa. Esto con el objetivo de no tener que usar un protoboard para hacer las pruebas, sino que únicamente una pequeña que tuviera todos los elementos incluidos. La placa del transistor que activa la bobina del relé del starter se optó por hacerla aparte. Esto debido a un imprevisto que se tuvo durante el diseño del PCB de control.

4. DISTRIBUCIÓN DE POTENCIAL ELÉCTRICO Y PROTECCIÓN DE CIRCUITOS. Se decidió ubicar todos los sistemas de protección del equipo electrónico en un solo lugar para que en el momento de una falla relacionada con este equipo sea más fácil buscar el origen del problema. Otro punto es que debido la distribución de los voltajes de este equipo se encuentra en una única placa que es capaz de manejar las corrientes del sistema y de esta forma obtiene más orden.

El otro equipo utilizado consume cantidades de corriente más grandes e implementar una placa impresa para estos elementos no hubiera sido nada funcional. Por esta razón se optó a poner los fusibles en puntos donde queden

bien protegidos y sea fácil de cambiarlos en el caso de un problema. Todos los fusibles seleccionados trabajaron adecuadamente y ninguno de estos se vio dañado durante todas las pruebas realizadas.

Los reguladores de voltaje utilizados soportan únicamente un amperio, pero como estos se utilizan únicamente para controlar equipo que consume una corriente baja, tienen la capacidad de operar sin dañarse. Sin embargo, hay circuitos que consumen cerca de la mitad de la corriente que estos reguladores soportan, por lo que se utilizó un disipador de calor para que trabajaran cerca de la temperatura ambiente. Una ventaja de estos reguladores es que ayudan a disminuir ruidos generados por sistemas y motores, por lo que ayuda a que las señales emitidas por el equipo electrónico tengan muy poco ruido.

Es importante mencionar que el hecho de haber utilizado borneras, terminales y tubo termo encogible ayuda a que todo el sistema tenga un mejor aspecto en cuanto a la estética y también permite que el sistema sea fácil de modificar y reparar cuando se tenga un problema. También nos ayuda a realizar cambios en distintas partes sin tener que remover todos los cables.

5. DESARROLLO DE PLACAS IMPRESAS (PCB). Durante el desarrollo de las placas fue necesario agregar dispositivos que aún no se tenían contemplados, como lo fue el interruptor de reseteo del microcontrolador. Este interruptor momentáneo es fundamental ya que si en dado caso el programa falla o se traba por alguna razón, con este lo reseteamos para que retorne a su estado inicial.

Por razones de disponibilidad, no se fabricó el PCB del relé del starter. Se tenía una placa que había sido utilizada con otros transistores, la cual ya tenía las dimensiones requeridas de las terminales, lo bornera y la misma configuración del transistor. Únicamente se hizo una pequeña modificación para poner la resistencia requerida en la base, y funcionó perfectamente.

Las pruebas realizadas con las placas fueron exitosas, mostraron un buen comportamiento ante todas las señales emitidas y recibidas. La placa para el

encendido del motor de combustión no mostró perturbaciones con las altas corrientes que debían de soportar las pistas y ningún otro elemento se vio afectado debido a esto.

6. MANTENIMIENTO PARA EL MÓDULO DE CONTROL, CONTROLADOR Y MOTOR ELÉCTRICO. Estos procedimientos fueron realizados basándose en la experiencia obtenida durante las pruebas realizadas con el vehículo, periodo en el cual, se pudieron observar las fallas comunes que se encontraban. Entre estas se pueden mencionar que los cables no hacían un buen contacto y los elementos no funcionaban bien. Otro problema común era que los opresores del piñón y el sprocket se aflojaban produciendo ruido y previniendo la correcta transmisión de potencia hacia las ruedas. Para corregir esto se utilizó pegamento para tuercas metálicas y asegurarse que los opresores no se volvieran a aflojar.

Un elemento delicado al cual hubo que hacerle mucho mantenimiento fue al relé de reversa. Como se mencionaba en el módulo de control, la potencia que soporta este relé está muy cercana a la que el motor utiliza normalmente, por lo que se calentaba notablemente. Debido a esto se observaba la formación de carbón o quemaduras debido al sobrecalentamiento en los contactos, por lo que es un elemento al cual se le debe prestar mucha atención a la hora de realizar el mantenimiento.

VIII. DESARROLLO DEL MÓDULO DE RECARGAS DE BATERÍA

A. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO

1. Escoger la localidad adecuada para montar las baterías que utilizará el carro de manera segura para el pasajero y tener el mejor balanceo en la estructura.
2. Escoger y construir un método de recarga de baterías donde se presente un equilibrio entre seguridad y rapidez de carga para el operador desde un tomacorriente de 120V de corriente alterna.
3. Diseñar un acoplamiento para ayudar a recargar las baterías a través de un alternador acoplado a un motor de combustión interna.

B. DISEÑO

1. **SELECCIÓN DE BATERÍAS A UTILIZARSE.** El diseño del módulo de baterías se encarga de poder proveer la fuente de poder para el motor eléctrico. El primer paso fue escoger el tipo de baterías que se pensaba utilizar para el prototipo de un carro híbrido y fue en base al motor eléctrico que se tenía disponible. El motor eléctrico es un motor de corriente continua de 1.5 caballos de fuerza utilizando una tensión de 36V y consumiendo 35A para tener una velocidad de giro de aproximadamente 3,600 revoluciones por minuto (RPM).

Figura 80: Motor eléctrico DC.



Para la búsqueda de la batería a utilizar se hizo una exhaustiva búsqueda tanto vía en línea como a nivel nacional. Una de las posibles opciones que se encontró fueron baterías a base de litio en la cual proporcionan 36V con una capacidad de almacenamiento de energía de 20Ah. También se encontró celdas de baterías a base de litio en la cual son de 3.2V de 10Ah. Estas baterías que se encontraron en línea tienen algunas ventajas como el bajo peso de ellas y el dimensionamiento que tienen. A nivel nacional se encontró tiendas que pueden construir baterías con características específicas. Una de las desventajas de estas baterías es el tamaño grande que tendrían que ser. Otra desventaja de las baterías a base de litio que tienen, tanto en línea como tiendas nacionales, es el alto precio que éstas tienen. Y la última alternativa fue utilizar baterías a base de plomo, las que comúnmente se utilizan en carro o en carritos de golf. Estas batería en comparación de las baterías a base de litio son más baratas por la razón de precio-capacidad de almacenamiento de energía, pero también el peso de estas baterías es mayor a las de litio. El peso es una característica importante ya que a menos peso, el motor eléctrico tendrá que hacer menos esfuerzo para desplazarse y utilizará menos energía de las baterías. Las baterías ideales que se podrían utilizar son las baterías a base de litio de celda individual, ya que cada una solamente pesan 350 gramos, por lo que para tener una batería de 36V de 60Ah se tendría que tener 72 baterías en la cual únicamente pesaran 55 libras en total.

Se escogió usar baterías a base de plomo de 12V por limitación del presupuesto. Se utilizó dos baterías EVEREADY de 66Ah y una batería de ciclo profundo de 105Ah. El motor eléctrico utilizando un controlador para controlar la velocidad necesita 36V para estar en un funcionamiento óptimo por lo que se tiene que poner tres baterías de 12V en serie para lograr tener 36V.

Si el motor eléctrico está exigiendo una corriente constante de 35A se puede calcular el tiempo estimado de duración de las baterías de la siguiente manera, si se planeara descargar completamente las baterías y se rige por la batería que tenga menos energía almacenada:

$$\frac{66Ah}{35A} = 2 h$$

2. SISTEMA DE RECARGA ESTACIONARIO

a. DISEÑO DE CAMBIO DE CONFIGURACIÓN DE LAS BATERÍAS.

Para el diseño de recargas de batería se escogió el método de recarga de baterías que se iba a utilizar. La recarga se dividió en dos partes, cuando el prototipo de un vehículo híbrido está apagado y cuando está en movimiento. Se decidió cargar las baterías con un cargador automático de 12V cuando se tenga la opción de utilizar un tomacorriente de 120V de corriente alterna (AC).

Para que las baterías se recargan utilizando el cargador de 12V, se tiene que cambiar la configuración de las baterías de serie a paralelo.

Figura 81: Baterías en serie, total 36V.

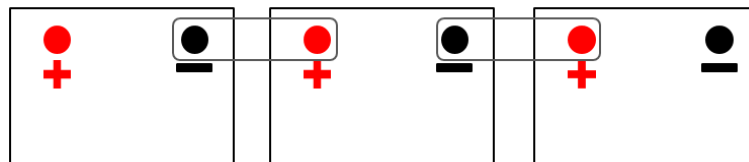
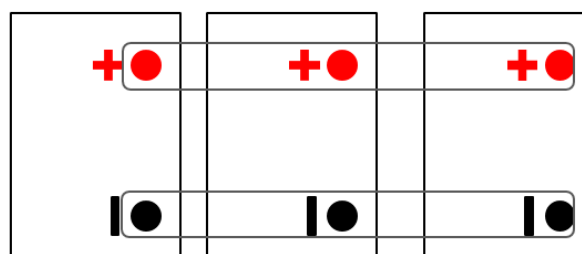
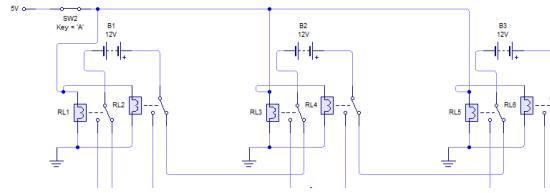


Figura 82: Baterías en paralelo, total 12V.



Para poder realizar los cambios de las dos configuraciones de las baterías, de paralelo a serie o viceversa, se diseñó utilizando tres relés DPDT. Cuando los relés no están energizados, las baterías se conectan en serie y cuando los relés estén conmutados las baterías estarán en configuración paralela. A continuación se presenta un esquema del sistema de cambio de configuración para las baterías:

Figura 83: Esquema utilizado para cambio de configuración.



Recargando las baterías por medio de un tomacorriente se debe tomar en cuenta que no solamente se necesita la tensión correcta para recargar las baterías sino también una fuente de poder para energizar los relés. La bobina de un relé utiliza una tensión de 12V y 0.155A por lo que tres relés estará utilizando 12V a 0.465A la cual se necesitará un fuente de 12V y que pueda ofrecer al menos 0.6A.

b. MÓDULO DE RECARGA DE BATERÍAS. Ya que se necesita dos tensiones diferentes para cargar las baterías se empleará un tomacorriente y espiga trifásica. Pese a que el sistema no es trifásico, se estará individualmente las fases del tomacorriente para tener dos diferentes tensiones. En un sistema trifásico se tiene tres fases y una tierra como sistema de protección y en un sistema de corriente directa se tiene una referencia y una línea viva. Se utilizó un pin del tomacorriente trifásico como referencia, otro pin fue para la alimentación de los relés y otro para dejar fluir la tensión del cargador automático de batería.

El tomacorriente trifásico es parte del prototipo del vehículo híbrido, haciendo una analogía sería la entrada del tanque de gasolina de un automóvil, mientras que la espiga está parte del cargador, pistola de una despachadora de gasolina.

Se utilizó un cargador automático de baterías a base de plomo para poder mantener la vida útil de las baterías, en la cual regula el voltaje y corriente hacia las baterías dependiendo del nivel en la que se encuentren.

Figura 84: Tomacorriente Legrand P17



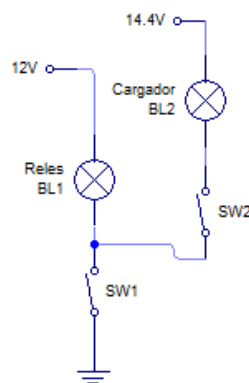
Figura 85: Espiga Legrand P17



c. DISEÑO DEL CONTROL DE RECARGAR ESTACIONARIO. Por último se diseñó un pequeño controlador de carga en la cual utilizando cuatro diodos emisor de luz (LED) y dos interruptores simples se podrá estar seguros estar cargando correctamente las baterías. Tres de estos cuatros LEDs estarán conectados individualmente en las terminales del relé cuando las baterías están en serie; éstos serán de color verde y estarán encendidos cuando las baterías estén en serie y se apagarán cuando las baterías estén en paralelo. El cuarto LED, de color rojo, indicará que la espiga está conectada correctamente con el tomacorriente. Estos LEDs son de 12V máximo y la corriente sugerida es de 0.020A. La Ley de Ohm es la relación algebraica que existe entre la tensión y la corriente en una resistencia: $R = V \times I$ [10]. Para que los LED no excedan su corriente máxima se utilizó una resistencia de 1k Ω de 0.5 Watts de potencia por lo que el sistema solamente consumirá 0.010A.

Uno de los dos interruptores que se mencionaron anteriormente servirá para energizar las bobinas de los relés. El otro interruptor dejará fluir la corriente para cargar las baterías pero solamente si el interruptor de las bobinas está activo, de lo contrario las baterías no se cargarán.

Figura 86: Esquema para la activación de relés y carga de batería.



Para cargar las baterías se estará utilizando un cargador especialmente diseñado para baterías de vehículos de 12V en la cual internamente tiene un

controlador electrónica que detecta la carga de la batería por lo que escogerá el mejor voltaje para cargarlo lo mejor posible sin dañar la batería.

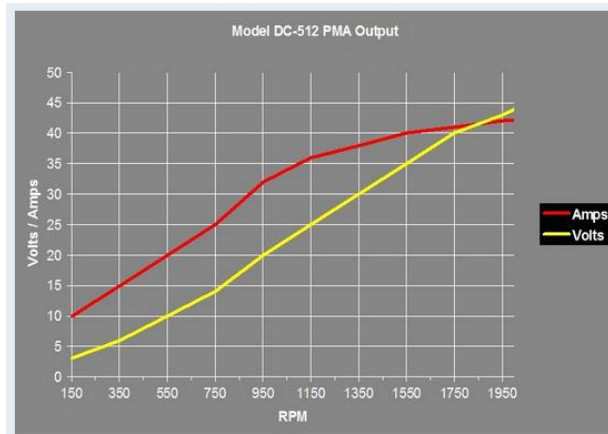
3. SISTEMA DE RECARGA MÓVIL

a. SELECCIÓN DE ALTERNADOR. El sistema de recarga móvil tiene que tener una tensión de 36V ya que si el motor eléctrico necesita energía, ésta tendrá que estar disponible. Las baterías de plomo tienen una ventaja contra las baterías inteligentes la cual es que se pueden utilizar las baterías mientras se está cargando.

Se empleó un alternador para obtener una tensión de 36V. Los alternadores de un carro convencional generalmente producen entre 13.5V - 14.8V, por lo que no se podrá utilizar únicamente un alternador y se tendrían que usar tres simultáneamente, la cual sería un problema controlar que la velocidad de estos sean la misma.

Alternadores en la cual se utilizan para producir electricidad mediante la fuerza del viento tiene un tensión más amplia en la cual se basa a la velocidad de giro de su eje. Analizando varios alternadores de diferentes características en la cual se buscó que no tuviera que estar girando a muy altas revoluciones para obtener más de 36V y que pueda ofrecer una corriente de igual o mayor magnitud que el cargador estacionario. Finalmente se escogió un alternado de la empresa WindBlue que se especializa en energía eólica casera, el modelo DC-512 la cual a aproximadamente a 1750RPM se estará produciendo una tensión de 40V a 42A.

Figura 87: Comportamiento de un alternador DC-512 marca WindBlue. [8]



El alternador transforma la energía mecánica a energía eléctrica. El alternador obtendrá la energía mecánica a través de un motor de combustión interna mediante un acople de poleas y faja tipo A. Este diseño se especifica mejor en el trabajo de graduación titulado: “Diseño y manufactura de un prototipo de un vehículo híbrido, módulo de transmisión de potencia: motor de combustión interna – generador eléctrico” [85].

C. METODOLOGÍA

Para que el proyecto se realice exitosamente se separarán en diferentes etapas, investigación, diseño, construcción, pruebas y ajustes. Se estuvo buscando publicaciones acerca de los diferentes tipos de baterías que existen También se investigo acerca de algún método en la cual se podrá cambiar de configuración de las baterías de serie a paralelo. Otra investigación que se realizó fue de otros métodos de obtención de energía cuando se esté en movimiento.

En la etapa de diseño se seleccionó la batería en la cual se hizo de acuerdo a la necesidad del motor eléctrico que se proporcionó. Ya que se seleccionó utilizar tres baterías, y las configuraciones son diferentes a al momento de cargar, se diseñó un circuito en la cual la baterías pueden ofrecer la tensión correcta al motor y estar en la configuración adecuada para recargarse desde un

tomacorriente. Se escogió utilizar un alternador para carga las baterías cuando el vehículo está en movimiento.

La etapa de construcción es en donde se ponen a prueba el conocimiento de lo que se ha aprendido a partir de la teoría. Se construyó el circuito de cambio de configuración de las baterías a partir de relés industriales y también el control de activación de los mismos. Se tuvo que construir bases para la colocación de las baterías en el vehículo. También se modificó un cargador de baterías para que funcionara según el diseño. Para montar el alternador se construyó una base y un tensor para poder tensar la faja correctamente.

Una de las etapas más esperadas fue la etapa de prueba en la cual se comprobó el correcto diseño y construcción de las diferentes partes de este proyecto. Se comprobó que se efectuara correctamente el cambio de configuración de las baterías de serie a paralelo. También que el cargador estuviera trabajando correctamente. Se probó que el alternador estuviera sacando el voltaje deseado.

En la etapa de ajustes se pudo ajustar la tensión de la faja gracias al tensor que se construyó en la cual ayudó a mejorar la transferencia de energía del motor de combustión al alternador. Se pudo ajustar la velocidad del motor de combustión interna para que el alternador produjera la tensión y corriente deseada para poder lograr recargar las baterías. También se realizó ajustes a los contactos de los relés para que se tenga un buen contacto y evitar alguna discontinuidad no deseada.

D. RESULTADOS

1. SELECCIÓN DE BATERÍAS A UTILIZARSE. En un inicio del proyecto se utilizaron tres diferentes baterías, en la cual una de ellas es una batería de ciclo profundo que fue comprada con un panel solar que se utilizó en el módulo de sensores, y las otras dos baterías fueron baterías usados en automóviles pero que fueron reemplazadas por nuevas.

Estas baterías funcionaron en las primeras pruebas del controlador del motor de eléctrico cuando solamente se hacía girar el eje del mismo sin ninguna carga. Fue notorio que las baterías usadas estaban en un mal estado ya que se descargaban con mucha facilidad.

Para las primeras pruebas de marcha del vehículo en la cual ya se habían instalado los componentes con un peso notorio, las baterías usadas no pudieron desempeñarse bien ya que después de utilizarlo por 10 minutos ya no proporcionaban energía suficiente para el controlador. Se supo que era problema de las baterías ya que no llegaba a tener suficiente energía ni para encender un LED que demanda 10mA esto fue por medio de las luces individuales del control de recarga estacionario.

Luego de haber reemplazado las dos baterías usadas por dos baterías EVEREADY nuevas se pudo prolongar el uso del prototipo a un tiempo. Para probar la duración de las baterías se decidió hacer pruebas de velocidad y también utilizando el vehículo a una velocidad moderada y no haciendo giros completos, es decir no se hace el giro completo del timón para dar la vuelta. Se estuvo utilizando por lo menos veinte minutos continuamente y la tensión de las baterías pasó de 38.1V a 37.6V

Figura 88: Baterías utilizadas.



Para lograr este objetivo de encontrar la localidad más adecuada para las baterías que se utilizarán y mantener balanceado lo mejor posible al prototipo de un vehículo híbrido, se tuvo que obtener el peso de cada batería. Esto se hizo

empíricamente, en la cual se anotó el peso de una persona se subía a una balanza y luego la misma persona cargando la batería y se restó ambos pesos para obtener el peso de la batería. La batería de ciclo profundo pesa aproximadamente 50 libras. Las baterías de carro pesan aproximadamente 30 libras cada una. Se trató de configurarlo la mejor manera posible para que el prototipo esté lo mejor balanceado posible. El lugar donde se decidieron instalar las baterías fue en las partes laterales del prototipo.

Figura 89: Posicionamiento de las baterías



2. SISTEMA DE RECARGA ESTACIONARIO. Lo primero que se realizó después del diseño fue la compra de los relés. En el mercado guatemalteco no tienen a la venta relés en la cual sus contactos tengan una capacidad de conducir 35A, por lo que se decidió buscar en internet. Se compararon tres relés mediante una distribuidora de equipo eléctrico localizada en Estados Unidos llamada: onlinecomponents.com. Los relés que se adquirieron fueron de la marca Magnecraft de Schneider modelo W199X-12 en la cual tiene la capacidad de aguantar 40A continuos. Se seleccionó estos relés ya que no se pudo encontrar otro con mayor capacidad de flujo de corriente continua. Otra razón la cual se escogió fue por el voltaje de la bobina con la que se activa el relé la cual es de 12V.

Figura 90: Relé Magnecraft 199X-12.



Luego de que los relés llegaron, se prosiguió a verificar el consumo de las bobinas de los relés. Esto se realizó en el laboratorio utilizando las fuentes de poder que pueden ofrecer 12V DC y también despliega la corriente que se está utilizando en ese instante. Se conectaron las tres bobinas en paralelo con 12V DC en la cual estaban consumiendo un total de 0.465A.

Figura 91: Voltaje (izquierda) y corriente (derecha) utilizados por los tres relés.



También se probó la continuidad de los contactos entre los cambios de posición de los relés para las dos configuraciones por si era necesario realizar algún ajuste.

Figura 92: Relé desactivado.



Figura 93: Relé activado.



Para proteger a los relés y facilitar la instalación de estos en el prototipo de un vehículo híbrido se compraron sus cajas metálicas en la cual se pidieron junto con los relés.

Figura 94: Caja de protección de un relé.



La localidad en donde estos relés fueron colocados fue en la parte lateral izquierda si se ve de frente al prototipo.

Figura 95: Estructura principal de prototipo de un vehículo híbrido.



Figura 96: Lado lateral derecha de la estructura del vehículo.



Figura 97: Relés interconectados para configuración en serie, paralelo.

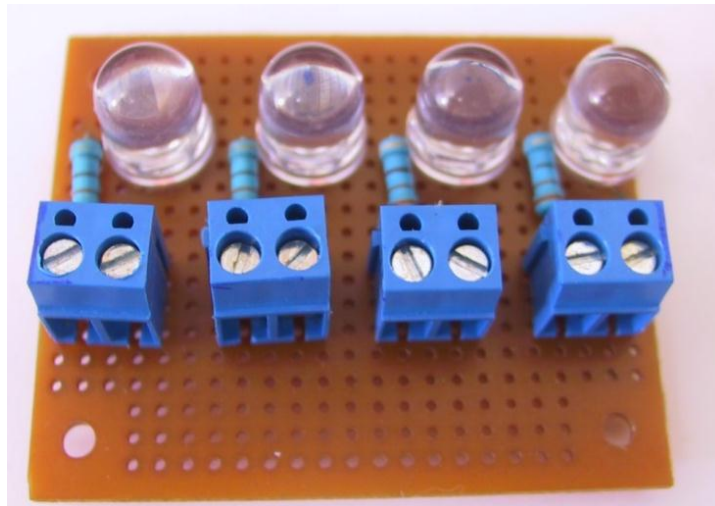


Los cables que se deben usar tiene que tener una capacidad de aguantar más de 35A por lo que se utilizaron cables para las terminales de motor eléctrico.

Estos cables tienen una mayor cantidad de alambres delgados por lo que lo hace más flexible y el revestimiento de éste ayuda a soportar más corriente en comparación a un cable utilizado para instalaciones eléctricas. Éstos se compró en una tienda local ERA & RELMO. Se utilizó cable calibre 8 ya que puede aguantar 85A para interconectar los relés en serie. Se utilizó cable calibre 12 que soporta 50A y calibre 16 que soporta 25A para conectar los relés en configuración paralela. Para hacer la conexión de las bobinas de los relés se utilizó cable de bocina 16AWG ya que únicamente estará fluyendo menos de 1A.

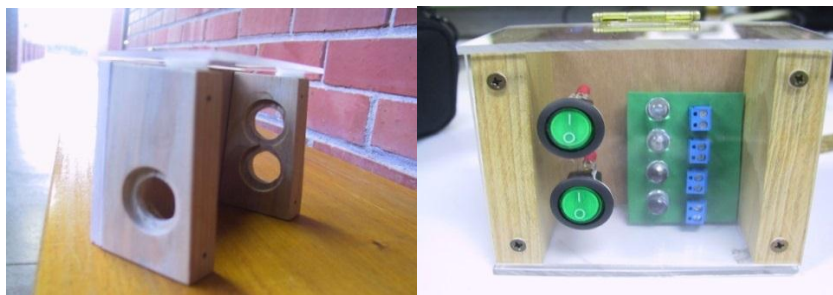
El control de la activación de los relés y paso del flujo de corriente del cargador automático se realizó en dos pasos. Se hizo una caja de prueba en la cual partes de madera con plexiglás. En esta caja se colocó una placa en la cual contiene los cuatro LEDs, estos llegaron a cumplir con el voltaje y corriente que se diseñaron.

Figura 98: LEDs verdes de indicación de conexión de batería, rojo de indicación de conexión de cargador (derecha).



Ésta fue la caja de prueba que se utilizó:

Figura 99: Caja de control de prueba 1.



Por la cantidad de cables que tienen que entrar o salir de la caja (6 pares), por lo tanto se decidió cambiar la caja de control por una caja de mayor volumen. Se realizaron unos cambios de posiciones de los componentes. Se muestra a continuación la caja que se utilizó finalmente y en la posición en donde se colocó dentro del vehículo.

Figura 100: Caja de control utilizada.



Figura 101: Interior de la caja de control.

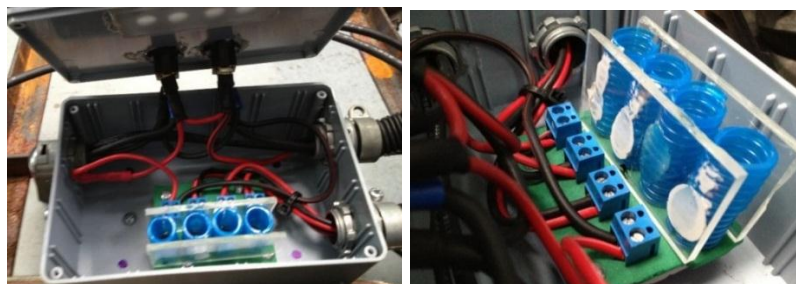


Figura 102: Ubicación de la caja de control dentro del vehículo.



Se adquirió un cargador automático de 12V marca Schumacher modelo SC-1200A en la cual se modificó para que pudiera tener salida una espiga trifásica. Se desarmó la unidad para examinar el circuito interno y encontrar tanto como la entrada de 110V AC del cargador como las terminales DC para recargar las baterías. Se logró incorporar un adaptador de 12V de 1000mA dentro del cargador en la cual este energizará las bobinas de los tres relés y encenderá el LED rojo de la caja de control. Aunque el cargador es automático, para estimar el tiempo que se tiene que cargar, se debe saber el porcentaje que falta para llegar al 100%, la capacidad de energía de almacenamiento que tiene la batería y la corriente a la que se se pone a cargar la batería.

$$\text{Tiempo de carga (Horas)} = \frac{\text{Ah de batería} \times \% \text{ que falta para carga completa}}{\text{Amperios a la que se carga}}$$

Siguiendo la ecuación anteriormente mencionada se determina que las baterías en paralelo con una capacidad de energía de almacenamiento de aproximadamente 215Ah se cargarán en 18 horas a 12A de carga.

Figura 103: Adaptador de 12V de 1000mA.



Figura 104: Espiga trifásica mostrando los 3 pines utilizados.



Figura 105: Interior del cargador automático.

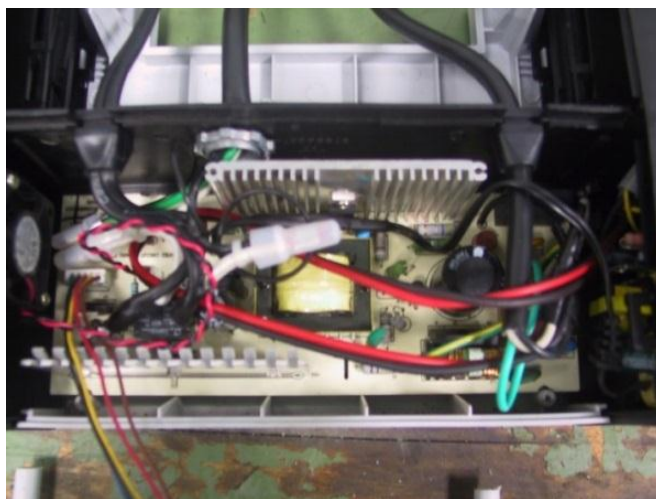


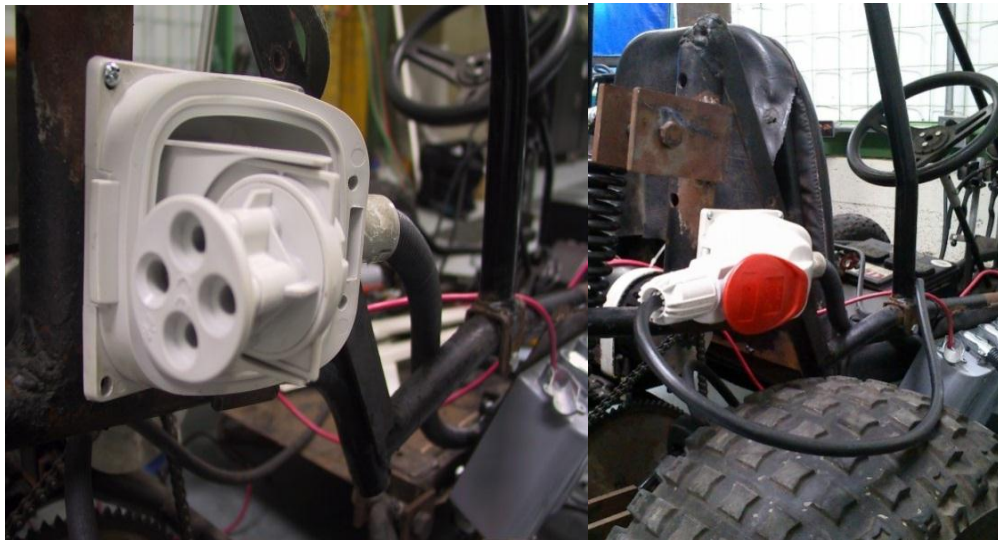
Figura 106: Adaptador de 12V instalado dentro del cargador automático.



Figura 107: Cargador automático Schumacher SC-1200A modificado.



Figura 108: Ubicación del tomacorriente trifásico en el vehículo.



3. SISTEMA DE RECARGA MÓVIL. Se instaló el alternador junto al motor de combustión interna mediante una base que se elaboró y también se aseguró la tensión de la faja mediante un tensor en la cual hacer que el alternador pueda girar sobre su base. Las poleas se alinearon para que la faja no tuviera ningún problema de su funcionamiento y de esta manera pudo transmitir con con la mejor posible eficiencia de la potencia del motor de combustión interna al alternador.

Figura 109: Motor de combustión interna acoplado por faja al alternador.

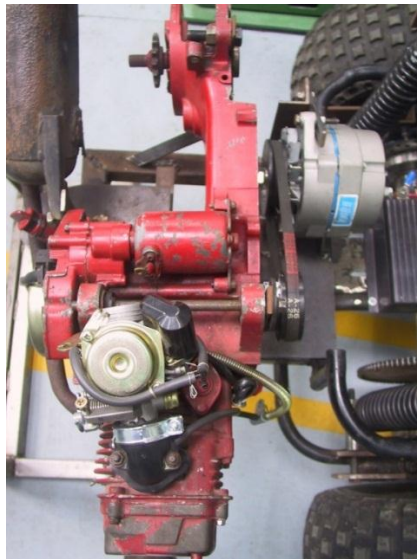


Figura 110: Base fabricado para alternador.

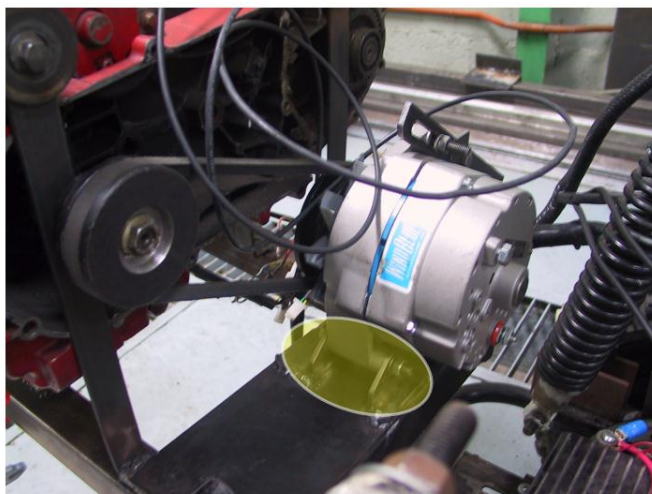


Figura 111: Tensor fabricado para alternador.

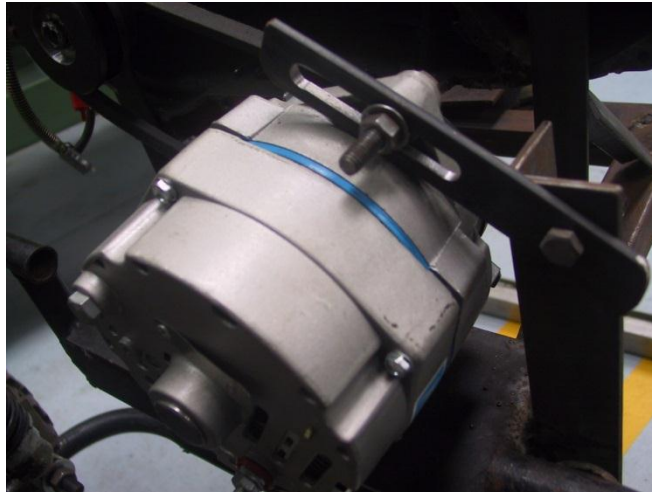
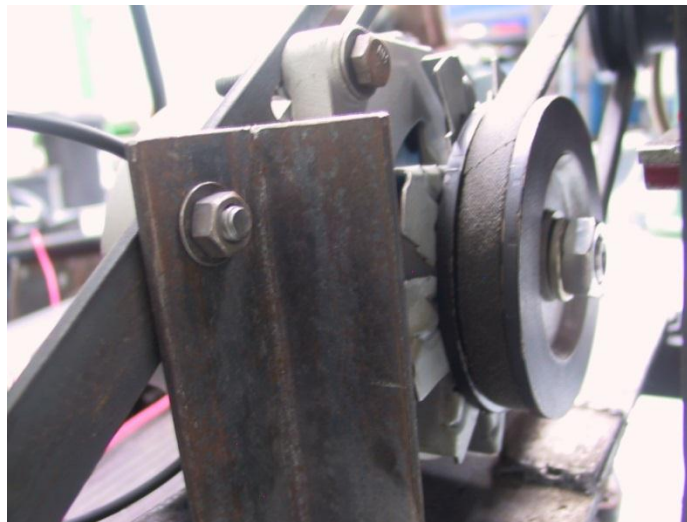


Figura 112: Polea del alternador



El alternador llegó a ofrecer 40V cuando el motor estaba trabajando aproximadamente a 3600 RPM. Con este voltaje se pudo cargar las baterías ya que el alternado ofrecía 40A máximo. La configuración de cargar las baterías utilizando el alternador es que la batería 36V junto con el controlador del motor eléctrico está en paralelo con el alternador por lo que el controlador del motor eléctrico pudo trabajar con normalidad.

Figura 113: Voltaje producido por el alternador sin carga.



La recarga de baterías utilizando el alternador comenzará cuando las baterías estén a la mitad de su capacidad de almacenamiento de energía en la cual rige la batería con menor capacidad de almacenamiento, esta detección se hará mediante un sensor de voltaje, esta implementación es parte del módulo “Diseño del sistema de sensores y captación de energía solar” [6]. La computadora central, módulo “Computadora central” [29], se retroalimentará del nivel de la batería y cuando la batería esté al nivel antes mencionado, la computadora le mandará una señal a un circuito de potencia en la cual hará que el motor de combustión interna comience a trabajar, éste pertenece al módulo

“Control de motores” [78]. La batería con menor capacidad de almacenamiento es de 66Ah. Se midió que cuando el alternador ofreció 5A máximo a la baterías.

Figura 114: Corriente del alternador a baterías.



Al utilizar la misma ecuación que el de la recarga estacionaria para estimar el tiempo que tardará en cargarse al 100% cuando las baterías estén a la mitad de su carga.

$$\frac{66Ah \times 50\%}{5A} = 6.6 \text{ horas} \approx 6 \text{ horas } 36 \text{ minutos}$$

Se observó que el comportamiento del motor de combustión interna no es muy estable ya que tiende a acelerar o desacelerar sin que alguna persona haya hecho algún ajuste. Esto puede ser a causa de que es un motor usado y no está en condiciones como la de un motor nuevo. Este comportamiento se puede observar en un vehículo normal, en la cual cuando se arranca por primera vez en el día y el motor está a temperatura del ambiente, éste se acelera para llegar a una temperatura óptima de trabajo en la cual lo definen los fabricantes de los motores y luego de llegar a esta temperatura comienza a desacelerar hasta llegar a un punto en la que se pueda mantener encendido y no apagarse.

E. DISCUSIÓN

1. SELECCIÓN DE BATERÍAS A UTILIZARSE. Se escogió utilizar baterías a base de plomo de un automóvil ya que pueden llegar a ofrecer una alta corriente inicial. Otro motivo en la cual se escogió este tipo de batería es por el precio del mercado ya que relativamente son más baratas que otros tipos de baterías como las baterías de litio hierro de fosfato (LifePO4), también conocidas como baterías inteligentes. Otra característica por la cual se escogió las baterías es por la capacidad de almacenamiento de energía la cual es mayor a otras baterías inteligentes.

Una de la gran ventaja que se tuvo al utilizar baterías a base de plomo es que mientras estas se estén cargado, también se puede estar utilizando, esto no se podría lograr con las baterías inteligentes en la cual se tienen que desconectar del sistema para cargarlas.

Se instalaron las baterías en las partes laterales para tener un balance central ya que la batería de ciclo profundo pesa alrededor de 50 libras y cada una de las baterías de carro pesa alrededor de 30 libras por lo que hacen un equilibrio bastante similar para el prototipo.

Al momento de probar la duración de las baterías no se hacían giros completos del timón ya que el prototipo está diseñado con un solo eje de transmisión, por lo tanto no cuenta con un sistema de diferencial. Es un problema cuando se está tratando de cruzar ya las ruedas giran a la misma velocidad, por lo que para cruzar una rueda trata deslizar mientras la otra rueda seguirá el camino. Cuando esto sucede, la demanda de corriente del motor eléctrico incrementa considerablemente por lo que no se encuentra a su consumo de corriente a operación normal. Estos picos de corriente por el tiempo en que se tarda al cruzar eleva la temperatura de operación del motor por lo que se podrá llegar a quemarse y dejar de funcionar. Considerando que solamente se utilizó 0.5V durante veinte minutos, se considerará que las baterías están completamente descargadas cuando cada una llegue a tener una tensión de

11V. Si la tensión inicial fue de 38.1 y la tensión final a la que se considera que están descargadas es de 33V, hay una diferencia de 5.1V, por lo tanto durarán 3 horas las baterías si el motor eléctrico no se quema antes, ya que en la prueba el motor eléctrico alcanzó una temperatura de 110°C. La duración de las baterías es mayor al estimado ya que no se está exigiendo 35A constantemente.

2. SISTEMA DE RECARGA ESTACIONARIO. Pese a que los relés que se escogieron funcionaron correctamente, no fueron los ideales ya que la corriente que soporta continuamente está muy cercana de la corriente nominal del motor eléctrico. Se escogió estos relés por el precio y la facilidad de instalación ya que se tuvo que interconectar 4 pares de cables dentro de la unidad la cual fue complicada por el espacio que se tiene para cablear. Se verificó el sistema que si tuviera algún problema entre las interconexiones éste no tiene consecuencias negativas al piloto del prototipo. Si está pasando una corriente mayor a la que soporta, los contactos de los relés comienzan a calentarse. Será un problema si los contactos no están haciendo un buen contacto ya que si están separadas por la distancia por más pequeña que sea producirá un arco eléctrico y éste puede comenzar a dañar los contactos haciendo pequeñas picaduras hasta dejarlo inservible al contacto.

Se utilizaron espiga y tomacorriente trifásica ya que se pensó en el futuro del proyecto por si se quiere continuar haciendo mejoras por lo que se podrá expandir utilizando el pin de una fase si es necesario. Éste conector facilitó la conexión ya que pudo mandar dos tensiones distintas en un mismo tramo de cable. Otra facilidad al utilizar este tipo de conexión es la seguridad ya que la espiga solamente se puede conectar de una manera con el tomacorriente y evitará conexiones erróneas.

El controlador no solamente ayuda a saber si los relés cambiaron de configuración exitosamente sino también ayuda a verificar el nivel de las baterías ya que si una batería tiene baja la carga las luces de indicación no brillaran tanto. Se diseñó el control de carga utilizando dos interruptores para mayor seguridad del usuario.

El tiempo de recarga de las baterías es largo, esto se debe al cargador que se está utilizando ya que es un cargador de solo 12A máximo. Un motivo a la cual se escogió este cargador es por el tamaño compacto que tiene ya que se podrá llevar junto con el carro y recargarlo siempre que se tenga la oportunidad; es recomendable recargar las baterías después de uso aunque se tenga un nivel de carga aceptable.

3. SISTEMA DE RECARGA MÓVIL. El motor de combustión interna no era estable, es decir que el eje no gira a una velocidad constante. Esto se reflejó en el voltaje de salida del alternador la cual variaba entre $\pm 0.5V$ a $\pm 1V$. Con estas variaciones pueden afectar al motor eléctrico, pero ya que están en paralelo con las baterías en la cual su función es de acumular la energía, por lo que su comportamiento es parecido a la de un capacitor en la que puede absorber los ruidos de voltajes y mantenerlos más estables a comparación si no se tuviera.

Aunque el alternador pueda ofrecer una corriente máxima de 40A, las baterías consumen una corriente de 5A máximo, esta corriente podrá variar dependiendo de la diferencia de tensión que tendrán entre el alternador y las baterías. El tiempo de estimación se basa cuando el motor eléctrico no está en funcionamiento ya que de lo contrario una corriente menor estarán alimentadas las baterías por lo que alargará el tiempo de carga de las baterías dependiendo del consumo que el motor eléctrico esté pidiendo.

Otro factor importante para el tiempo de recarga de la baterías utilizando el alternado es de la estabilidad del motor de combustión interna ya que éste no siempre gira a la misma velocidad a la que se calibra.

El acoplamiento que se escogió fue mediante una polea. Una de las razones por la cual se escogió fue porque el alternador originalmente venía con una polea, por lo que decidió dejar el mismo método de transmisión de potencia. Otra razón por la que se escogió es por el ruido producido por este acoplamiento ya que si fuera por medio de cadena, éste es más ruidoso que una faja. Otro

motivo es por la facilidad de adquirir poleas de un tamaño específico y también es más accesible económicamente adquirir una polea que un engrane.

Haciendo la comparación entre el sistema de recarga estacionario y el sistema de recarga móvil será más efectivo la recargar de las baterías con el sistema de recarga estacionario. Una de las razones es el tiempo en que se recargan las baterías, ya que con el alternador no se recargan con mayor rapidez. También al recargar las baterías por medio del sistema de recarga estacionario no se estará utilizando un combustible fósil directamente en la cual pueda perjudicar la salud del usuario por los gases emitidos por el motor de combustión interna.

IX. DESARROLLO DEL MÓDULO DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA, MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA Y GENERADOR ELÉCTRICO

A. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO

1. Analizar y seleccionar el motor de combustión interna que entregue la potencia y torque necesario para que el generador proporcione como mínimo 40 Volts y 43 amperes.
2. Realizar una comparación entre motores de dos y cuatro tiempos para seleccionar el motor que cumpla con los requerimientos del modelo.
3. Crear un documento que incluya la rutina del mantenimiento preventivo del motor de combustión interna.
4. Instalar el motor de combustión interna en chasis del vehículo.

B. DISEÑO

En este módulo, se realizó una inspección de ajustes mecánicos de las válvulas de admisión y escape, diámetros de balancines, alturas de levas y diámetros de vástagos para el motor de 4 tiempos Yumbo RoadPower 125 c.c. Se llevó a cabo el cambio de los componentes eléctricos para reemplazar los existentes y así poder asegurar una correcta operación por parte del equipo eléctrico.

Se diseñó un sistema de transmisión de potencia desde un motor de combustión interna hacia un generador eléctrico por medio de bandas tipo A. se utilizó una polea impulsora de 3 pulgadas, una polea impulsada de 4 pulgadas y una banda A26.

Se diseñó una estructura para instalar el motor de combustión interna al chasis del prototipo diseñado. Se utilizó un perfil cuadrado de 1.5 pulgadas para ensamblar una estructura rectangular de 34 cm de largo y 32 cm de ancho.

Se diseñó un plan de mantenimiento preventivo para el motor de combustión interna y así poder disminuir los mantenimientos correctivos y mejorar la confiabilidad de la máquina.

C. METODOLOGÍA

El trabajo está dividido en un total de 6 fases. Durante la primera fase se planteó reparar un motor de combustión interna, por ende, se realizó un diagnóstico de los componentes eléctricos y mecánicos del motor para determinar los repuestos y reparaciones necesarias. Cuando se cuente con los repuestos necesarios y las reparaciones ya hayan sido realizadas, se procederá al ensamble del motor para poder ponerlo en marcha. Luego, se medirán las revoluciones en régimen ralentí para poder hacer la relación de engranes necesaria para que el generador eléctrico funcione al régimen deseado.

En la segunda fase se procederá a dejar cálculos teóricos para saber la potencia transmitida en régimen ralentí y se procederá a diseñar el sistema de transmisión de potencia del motor de combustión interna hacia un generador eléctrico.

En la tercera fase se diseñarán e instalarán en el chasis del prototipo los soportes del motor de combustión interna para poder sujetarlo de forma segura y correcta.

En la cuarta fase, cuando se tenga instalado el generador eléctrico, se procederá a la instalación del sistema de transmisión de potencia y se llevaran a cabo pruebas para poder asegurar que se esté generando lo necesario por parte del generador eléctrico. Si fuese necesario realizar una serie de correcciones al sistema, se realizarán las necesarias. En la quinta fase de desarrollo del

proyecto, se plantea realizar un plan de mantenimiento preventivo para el motor de combustión interna a utilizar para poder aumentar la confiabilidad en la generación de energía eléctrica del prototipo.

En la sexta y última fase del proyecto se harán pruebas de campo y se documentará el comportamiento del sistema en serie para luego evaluarlo y obtener conclusiones sobre el sistema híbrido en serie.

D. RESULTADOS

1. REPARACIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA. Al inicio del proyecto, se realizó la compra de un chasis de un go-kart de playa en el Puerto de San José, Escuintla, Guatemala. Este chasis incluía un motor de combustión interna de cuatro tiempos enfriado por aire de la marca Yumbo RoadPower de 125 c.c. de desplazamiento del pistón, el cual, poseía desperfectos mecánicos y por ende no era posible su arranque.

Se observó que el sistema de transmisión de potencia inicialmente instalado en el chasis presentaba desperfectos y no permitía la rotación del eje del cigüeñal. Por ende, se eliminó por completo el sistema de transmisión de potencia previamente instalado y se observó que era posible el movimiento del eje del cigüeñal.

Posteriormente, se realizó una inspección visual en el aceite en búsqueda de indicios de rupturas o ranuras internas del sistema. Luego de drenar todo el aceite del cárter, no se encontraron partículas de metales lo cual indica que internamente el motor no sufrió daños severos.

Para hacer el diagnóstico de los componentes mecánicos, se realizó una revisión y medición de los componentes mecánicos en comparación con los valores estándares y límites de servicio presentados en la Tabla 17.

Las mediciones obtenidas de los componentes mecánicos fueron:

Tabla 17: Componentes mecánicos

Componente mecánico	Medición real (mm)	Valor estándar (mm)	Límite de servicio (mm)	Desviación con respecto al límite de servicio (mm)
Altura de la leva de admisión	29.6	29.5	29.8	0.2
Altura de la leva de escape	29.7	29.5	29.8	0.1
Luz de la válvula	0.08	0.06-0.08	0.1	0.02
Diámetro externo del vástago de la válvula de admisión	5.45	5.45-5.46	5.42	0.03
Diámetro externo del vástago de la válvula de escape	5.44	5.43-5.44	5.4	0.04
Diámetro interno del balancín	10	10	10.05	0.05
Diámetro externo del eje de balancín	9.95	9.98	9.93	0.02

Se analizaron solamente dichos componentes internos del motor debido a que no se contaba con el tiempo suficiente para realizar una inspección general de los componentes internos del motor.

Se puede observar que en comparación con los valores presentados en la Tabla 17, el motor no requería de un maquinado o un cambio de piezas para su correcto funcionamiento. Se observó que los hilos de rosca de la bujía no se encontraban del todo bien, por ende, se realizó un trabajo de maquinado en la empresa Gran Central de Motores S.A.

Tabla 18: Valores estándar y límites de servicio

ITEM		VALOR STANDARD en mm	LIMITE DE SERVICIO en mm
MOTOR			
Cilindro/Pistón/Cigüeñal			
Luz pistón-cilindro		0.02-0.045	0.08
Diámetro cilindro		52.4 ± 0.01	52.85
Diámetro pistón (a 10mm del borde inferior)		52 ± 0.01	51.50
Planicidad admisible tapa cilindros y superf. del cil.			0.05
Luz de aros:		0.15-0.35	0.05
Luz aro en ranura pistón		0.03-0.05	0.10
Juego perno en pistón		0.05	0.08
Diámetro interno agujero perno en pistón		15.16 ± 0.01	15.25
Diámetro externo perno		14.95 ± 0.01	14.85
Deflexión biela		0.01	0.08
Diámetro interno ojo menor biela		15.25 ± 0.01	15.50
Juego radial biela en perno (ojo menor)		0.02	0.05
Juego radial biela en cigüeñal (ojo mayor)		0.01	0.05
Juego lateral biela en cigüeñal		0.15-0.20	0.30
Desalineado cigüeñal		0.02	0.05
Distribución			
Altura de leva	Admisión	29.50	29.8
	Escape	29.50	29.8
Longitud libre resorte valv.	Interno	35.10	34.60
	Externo	37.60	36.70
Luz de válvulas		0.06 – 0.08	0.09-0.10
Diámetro externo vástago válvula	Admisión	5.45-5.46	5.42
	Escape	5.43-5.44	5.40
Diámetro interno guía válvula	Admisión	5.40-5.42	5.54
	Escape	5.38-5.40	5.42
Diámetro interior balancín		10.00	10.05
Diámetro externo eje balancines		9.98	9.93
Juego balancín-eje		0.05	0.08
Ancho asiento válvula		1.70	2.00
Angulo asiento válvula		45°	
Luz válvula-guía	Admisión	0.01-0.03	0.05
	Escape	0.03-0.05	0.06

En las siguientes figuras, se observa el estado interno del motor de combustión interna, donde se analizaron los límites de servicio de los componentes antes mencionados y la búsqueda de fracturas en el cárter del aceite.

Figura 115: Estado interno del motor de combustión interna



Figura 116: Estado interno del motor de combustión interna



Luego de consultar con la agencia distribidora de estos motores, se observó que no se contaban con todos los componentes eléctricos necesarios para que el motor pueda operar sin presentar problemas.

Inicialmente, se contaba con la planta eléctrica y su bobina y un rectificador de corriente. Se realizaron pruebas a la bobina y se observó que si funcionaba, pero por el estado que esta presentaba y suponiendo que ya haya operado durante largas horas, se decidió realizar el cambio de este componente eléctrico.

Se observó que era necesaria la compra de todos los componentes eléctricos, los cuales incluían:

- Planta eléctrica
- Bobina de alta
- Rectificador de corriente
- Unidad CDI

En la siguiente imagen se presentan los componentes eléctricos comprados para la reparación del motor:

Figura 117: Componentes eléctricos



Luego de hechas las compras de los repuestos solicitados, se ensambló de nuevo el motor de combustión interna y se procedió al arranque del mismo.

Luego de haber puesto en marcha el motor de combustión interna, se realizaron mediciones de campo para obtener la velocidad a ralentí. En la siguiente tabla, se documentan los resultados obtenidos de las pruebas de campo realizadas.

Tabla 19: Velocidad a ralentí

Prueba	Régimen de operación a ralentí (rpm)
1	1,850
2	1,924
3	1,910
4	1,890
5	1,918

De las pruebas llevadas a cabo, se obtiene una velocidad promedio de ralentí de aproximadamente 1900 rpm. En la siguiente imagen, se observa una muestra de los datos obtenidos durante las pruebas de campo.

Figura 118: Velocidad de ralentí



Se hizo un análisis termodinámico en el Apéndice E durante un régimen a ralentí para conocer las características de operación. Se obtuvo que a un régimen de operación de 1900 rpm el motor de combustión interna:

- a. Genera 2.03 Nm de torque
- b. Entrega 0.54 hp de potencia al freno
- c. El consumo específico de combustible es de 0.06 galones por hora de operación

Debido a que se le es demandado 1.07 hp (Ecuación No. 4) de potencia al generador, no se debe operar el motor de combustión interna a un régimen a ralentí debido a que la potencia al freno es menor a la mínima demandada por el sistema.

2. SELECCIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA. Para la selección del motor de combustión interna, se analizó un motor de dos tiempos marca DLE serie DLE-35cc utilizado en carros a control remoto a escala. De igual forma, se analizó el motor de combustión interna marca Yumbo de la serie RoadPower 125 c.c. que incluía la compra del chasis.

En la Tabla 20 se muestran las características de operación de ambos motores.

Tabla 20: Comparación de un motor de 2 y 4 tiempos

Característica de operación	Motor DLE-35cc	Motor Yumbo RoadPower 125c.c.
Desplazamiento del pistón	35c.c.	125 c.c.
Combustible	Mezcla gasolina-aceite(30:1)	Gasolina
Relación de compresión	7.6:1	9.2:1
Peso	2.06 lb	8.6 lb
Potencia al freno máxima	4.1 hp @ 8,500 rpm	7 hp @ 7,500 rpm
Modo de ignición	Electrónica con 12 V	Electrónica con 12 V
Suministro de combustible	Carburador	Carburador
Costo/ costo de reparación	\$ 349.98	Q 985. 07

Sabiendo que al generador le son demandados 40 V y 20 A, la potencia mínima que debe ser entregada por parte del motor de combustión interna instalado es de 1.07 hp. Se puede observar que ambos motores sobrepasan la potencia demandada por el generador. Ya que no se obtienen las curvas de operación de ambos motores, se puede observar que el motor Yumbo entrega mayor potencia a un régimen de operación menor que el motor DEL. Esto indica que, debido a la dimensión de la cámara de combustión, es posible generar mayor potencia a un régimen de operación menor que un motor de dos tiempos. El consumo de combustible se ve directamente ligado con el régimen de operación. En los motores carburados, a menor régimen de operación, menor será el consumo de combustible, por ende, para generar la potencia máxima, el motor Yumbo consumirá menor cantidad de combustible que el motor DLE.

Debido a que opera a un menor régimen para entregar su potencia máxima, la temperatura del motor será menor en comparación con un motor de dos tiempos. Se puede observar que el motor de cuatro tiempos posee una mayor

relación de compresión y por ende tendrá una mejor eficiencia volumétrica. En un motor de 2 tiempos es necesaria la mezcla de un aceite para que realice la función de lubricación interna del motor. El motor DLE en estudio requiere de una mezcla de aceite-gasolina de 1:30, lo cual indica que por cada 30 partes de gasolina, se requiere una parte de aceite para su correcta lubricación. Un motor de 4 tiempos no requiere de dicha mezcla ya que posee un sistema interno de lubricación.

Se selecciona el motor Yumbo Road Power 125c.c. ya a que:

- Opera a un menor régimen de operación
- Generará menor calor durante su operación
- Presentará un menor consumo de combustible
- Es posible reparar el motor.
- El costo de la reparación es menor a la inversión del motor DLE.

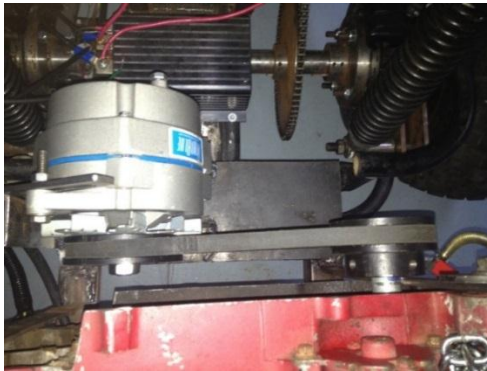
3. TRANSMISIÓN DE POTENCIA. Conociendo la curva de operación del generador eléctrico (presentada en el Anexo E) seleccionado en el módulo “RECARGAS DE BATERÍAS” se calculó y seleccionó una transmisión por medio de bandas en V. La distancia entre centros máxima permitida es de 13” por lo cual se realizaron los cálculos de la transmisión de potencia a una distancia entre centros de 8”. De los cálculos obtenidos del Anexo E se selecciona una banda A26 con una polea impulsora de 3 pulgadas y una polea impulsada de 4 pulgadas de diámetro.

En la Figura 119 y en la Figura 120 se presentan algunas imágenes del sistema de transmisión desde un motor de combustión interna hacia un generador eléctrico de imanes permanentes. Se pueden observar las poleas acopladas el motor de combustión interna y al generador y el sistema tensor.

Figura 119: Vista en perfil: Sistema de transmisión de potencia instalada



Figura 120: Vista en planta: Sistema de transmisión de potencia instalada



4. EFICIENCIA EN LA TRANSMISIÓN DE POTENCIA. Para el análisis de la eficiencia de la transmisión de potencia se utilizó la potencia teórica obtenida del análisis termodinámico y la potencia que entrega el generador eléctrico. Ya que no se conoce la eficiencia interna del generador, se realizó revisión bibliográfica para conocer el rango de eficiencias para los generadores eléctricos y se obtienen eficiencias entre el 80%-95%. Para fines de este análisis, se estima un 85% en la eficiencia del mismo y por ende se obtendrá una eficiencia teórica de transmisión de potencia.

Del Apéndice E se observa que el motor de combustión interna entrega 1.32 hp de potencia. Sabiendo que el generador eléctrico entrega 40 voltios y 20 amperios, se utiliza la Ecuación No. 4 para saber la potencia entregada por parte del generador eléctrico.

$$P = V \times I$$

$$P_{\text{salida}} = 40 \text{ V} \times 20 \text{ A} = 800 \text{ W} = 1.07 \text{ hp}$$

La eficiencia del generador está dada por la Ecuación No. 5

$$\varepsilon = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}} * 100\%$$

Utilizando la ecuación anterior se obtiene una potencia de entrada al generador de 1.26 hp para que este entregue la potencia de salida deseada.

Utilizando de nuevo la ecuación y tomando la potencia de salida (P_{salida}) como la potencia que debe ser entregada al generador eléctrico y la potencia de entrada (P_{entrada}) como la potencia al freno del motor de combustión interna, se obtiene una eficiencia en la transmisión de potencia del 95.36%.

5. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA. Del apartado B de la presente sección de resultados, se selecciona el uso de un motor de 4 tiempos marca Yumbo de la serie RoadPower 125c.c. Dicho motor es un motor enfriado por aire de 125 c.c. de desplazamiento volumétrico del pistón con una relación de compresión de 9.2:1.

De las pruebas de campo realizadas para la medición del régimen de operación en marcha ralentí se pudo observar que era necesario abrir levemente la válvula de mariposa del carburador para permitir el paso de combustible suficiente para que este lograra arrancar sin presentar complicaciones.

Se realizaron pruebas para establecer una apertura adecuada para la válvula de mariposa y así poder permitir el flujo de combustible necesario para que este logre su ignición sin presentar complicaciones.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas realizadas:

Tabla 21: Ajuste en la apertura de la válvula de mariposa del carburador

Régimen de operación	Fue posible su ignición sin presentar complicaciones
1,900 rpm	NO
1,975 rpm	NO
2,060 rpm	NO
2,110 rpm	NO
2,200 rpm	SI

Como se puede observar, fue necesario ajustar la válvula de mariposa del generador para que este entre en operación sobre los 2,200 rpm y así poder encender de una forma rápida y sin presentar complicaciones por la falta de combustible.

Se realizó un análisis termodinámico para un régimen de 2,200 rpm y se obtuvo que el motor de combustión interna:

- a. Entrega una potencia al freno de 0.62 hp
- b. Genera un torque de 2.02 Nm
- c. El consumo específico de combustible es de 0.07 galones por hora de operación.

Como se puede observar, bajo este régimen de operación no se obtiene la potencia mínima esperada por el generador eléctrico (1.07 hp).

Para establecer un régimen de operación estacionario en donde se esté generando el voltaje y la corriente mínima demandada por el sistema se realizaron ajustes en la válvula de mariposa del carburador y de modo experimental se estableció un régimen de operación promedio para el motor de combustión interna de 4,650 rpm.

Figura 121: Ajuste de la válvula de mariposa del carburador



En la Tabla No. 22 se presentan los regímenes de operación del motor de combustión interna y del generador eléctrico cuando cumplen con la demanda del sistema de generar 40 V.

Tabla 22: Regímenes de operación

Corrida	Motor de combustión interna (rpm)	Generador eléctrico (rpm)	Voltaje de salida del generador
1	4,227	3,298	38 V
2	4,439	3,212	39.40 V
3	4,832	3,351	43 V
4	4,998	3,645	40.88V
5	4,793	3,426	40.07 V
Régimen de operación promedio	4,657	3, 386	40.27V

Se puede observar un régimen de operación promedio para el motor de combustión interna de 4,657 que para fines de futuros análisis, se considerara un régimen de operación promedio de 4,650 rpm.

Se observa un régimen de operación promedio para el generador eléctrico de 3,386 rpm y un voltaje promedio de 40.27V y por ende se considera correcto el ajuste de la válvula de mariposa para delimitar la potencia y el régimen de operación del motor de combustión interna.

Figura 122: Prueba del voltaje de salida del generador



Figura 123: Datos de prueba en regímenes de operación del motor de combustión interna



Figura 124: Datos de prueba en regímenes de operación del generador eléctrico



Luego de obtener el régimen de operación promedio en donde el generador eléctrico cumple con la demanda de voltaje y corriente por parte del sistema., se obtuvo el análisis termodinámico presentado en el Apéndice E en donde se analizaron las características de operación del motor de combustión interna cuando esté en operación, se obtuvieron los datos presentados en la Tabla 23.

Tabla 23: Características de operación del motor de combustión interna

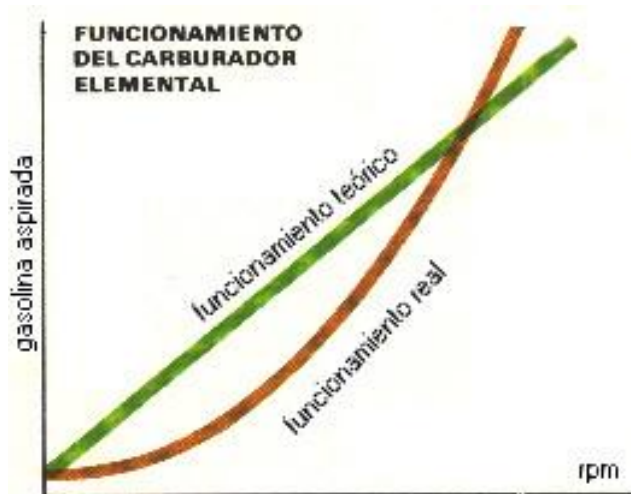
Descripción	Valor
Régimen de operación	4, 650 RPM
Torque @ 4,650 RPM	2.2 N-m
Potencia al freno @ 4,650 RPM	1. 32 hp
Eficiencia térmica	58.79%
Eficiencia volumétrica	28.33%
Eficiencia mecánica	35%
Consumo de combustible (teórico)	0.16 galones por hora

De la ficha técnica del motor Yumbo (Apéndice E) se puede observar que la potencia máxima del motor a plena marcha es de 7 hp operando a 7,500 rpm. De igual forma, se observa que el torque máximo es de 7.8 Nm operando a 6,000 rpm. De los datos obtenidos en el análisis termodinámico, se obtienen una potencia de 1.32 hp y un torque de 2.2Nm operando a 4,650 rpm.

Se puede observar que el régimen de operación del motor esta levemente sobre la mitad de lo permisible y la potencia entregada al eje está muy por debajo de la máxima teórica permisible. Este resultado se puede obtener debido a que la posición de la válvula de mariposa no permite el flujo máximo de entrada de la mezcla aire-combustible a la cámara de combustión.

En la Figura 125 se observa la curva de funcionamiento de un carburador en su estado teórico y en su estado real.

Figura 125: Curva de operación de un carburador



Se puede observar que existe un solo punto en donde el funcionamiento teórico y el real coinciden para una correcta aspiración de gasolina. Por debajo de la curva de funcionamiento teórico, se obtiene una mezcla pobre de aire-combustible. Una mezcla pobre indica que existe una mayor cantidad de partículas de aire que no puede formar parte en el proceso de la combustión ya que no poseen partículas de gasolina para realizar la combustión. Por ende, el trabajo aprovechado de la combustión será menor. Con regímenes de operación muy cercana a las máximas es posible obtener una correcta aspiración de combustible lo cual crea una correcta mezcla de aire-combustible. Esto indicará que todas las partículas de aire y gasolina son perfectamente mezcladas y todas forman parte en el proceso de la combustión. Sobre el punto óptimo de operación, se obtiene una mezcla rica de combustible. Sobre este punto, existen una mayor cantidad de partículas de gasolina que de aire. Este punto de operación no es recomendado ya que en el proceso de escape, se liberan partículas de gasolina al medio ambiente. Durante este punto de operación del carburador, es posible obtener mayor cantidad de energía por parte del combustible ya que todo el combustible que ingresa a la cámara de combustión es quemado.

Acorde con el régimen de operación del motor de combustión interna, se puede observar que el carburador está operando por debajo de la curva ideal del carburador y por ende se obtiene una mezcla pobre de combustible.

Es por esto que a un régimen de operación levemente sobre la mitad de lo máximo permisible, la potencia al freno es baja en comparación a la potencia máxima permisible. La curva de operación real de un carburador hace que no exista la relación lineal entre régimen de operación y potencia entregada. Se puede observar que a mayor régimen de operación, se estará operando en un régimen teórico y el aprovechamiento de la energía química del combustible será mayor en comparación con una mezcla pobre de combustible.

Debido a este pequeño rango de operación ideal de un carburador, la mayoría de los motores de combustión interna utilizado en el mercado automotriz reemplazo los carburadores por inyectores de gasolina que por medio de un sistema de control, logran aumentar el rango de operación una mezcla de aire-combustible ideal.

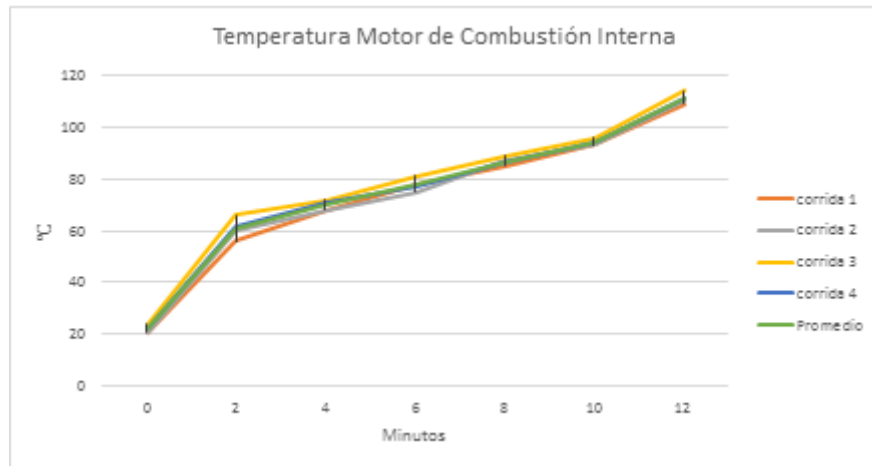
Se realizó un análisis para observar el calentamiento del motor de combustión interna durante su operación y así poder delimitar el tiempo de operación y así poder prevenir los sobrecalentamientos indeseados.

Se realizaron mediciones en la temperatura superficial del motor a través del tiempo y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 24: Temperatura del motor a través del tiempo

Tiempo (minutos)	corrida 1	corrida 2	corrida 3	corrida 4	Promedio
0	21°C	21°C	24°C	22°C	22°C
2	56°C	60°C	66°C	62°C	61°C
4	68°C	68°C	72°C	71°C	69.75°C
6	78°C	75°C	81°C	77°C	77.75°C
8	85°C	87°C	89°C	86°C	86.75°C
10	93°C	93°C	96°C	94°C	94°C
12	109°C	110°C	114°C	111°C	111°C

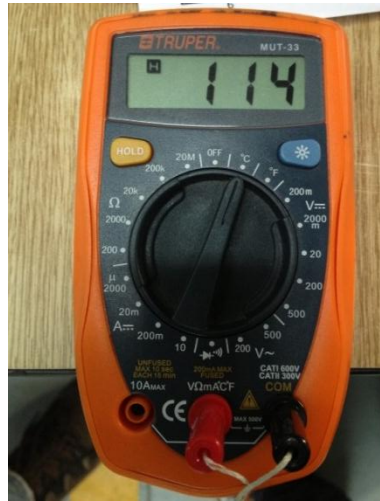
Figura 126: Gráfico de la temperatura de operación



En la Figura No. 126 se observa el comportamiento de la temperatura del motor de combustión interna a través del tiempo durante su operación. Se puede observar que al inicio de su operación, el motor sufre incrementos de temperatura a un mayor régimen. Durante el tiempo de 2 a 8 minutos, se observa un incremento no tan acelerado en comparación con el arranque del motor. Esto se debe a que se está operando dentro de su temperatura óptima de operación. Durante los estados de combustión del ciclo de Otto, gran parte de la energía producida por la combustión es desperdiciada al ambiente por medio del calor. Durante este periodo de tiempo, el flujo de aire que pasa a través de las aletas de transferencia de calor, se encuentra dentro de lo deseado para así enfriar el motor.

Luego, a partir de los 10 minutos de operación, se observa incrementos de temperatura a un mayor régimen. Esto se debe a que el flujo de aire no basta para enfriar el motor ya que el material gana calor durante su operación y no existe una transferencia de calor por medio de convección forzada.

Figura 127: Pruebas de temperatura del motor



Observando el comportamiento del motor durante su operación y con las delimitaciones que se contaban, se delimita a un tiempo de operación de como máximo 10 minutos para no sobrecalentar el motor y no dañar los componentes internos del motor. Cabe notar que es necesaria la implementación de un sistema de enfriamiento para poder prolongar el tiempo de operación del mismo.

6. GRADO DE HIBRIDACIÓN. El grado de hibridación es el porcentaje de la potencia eléctrica con respecto a la potencia total del vehículo.

El grado de hibridación del prototipo diseñado se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$DOH = \frac{P_{\text{motor electrico}}}{P_{\text{motor de CI}}} = \%$$

$$DOH = \frac{1.5 \text{ hp}}{7 \text{ hp}} = 21.42\%$$

Según la clasificación de los grados de hibridación, este prototipo posee una clasificación de hibridación completa (*Full Hibridization*).

7. INSTALACIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EN EL CHASIS. Luego de analizar el lugar adecuado para colocar el motor de combustión interna en el chasis del prototipo del vehículo híbrido diseñado, se diseñó una estructura en la parte trasera del vehículo.

Se llegó a la conclusión de que el lugar adecuado para colocar el motor de combustión interna es en la parte trasera del vehículo. Se seleccionó colocar el motor de combustión interna en la parte trasera del chasis ya que no se contaba con un lugar disponible en el costado del vehículo debido a que el banco de baterías se instaló en este sitio y en la parte frontal del chasis se consideró que podía afectar la visibilidad del conductor.

Se ensambló un soporte rectangular de 34cm de largo por 32 cm de largo. Los planos de la estructura diseñada se encuentran adjuntos al proyecto (Apéndice E).

La estructura diseñada y ensamblada en el chasis se observa en las Figuras 128 y 129.

Figura 128: Estructura de soporte para el motor, vista en planta



Figura 129: Estructura de soporte para el motor, vista lateral



8. PLAN DE MANTENIMIENTO. El plan de mantenimiento preventivo del motor tiene como principal objetivo mantener un correcto funcionamiento del motor. El mantenimiento se clasifica como:

- a. Servicio de mantenimiento menor.
- b. Servicio de mantenimiento mayor.
- c. Servicio de mantenimiento mayor completo.

La frecuencia de mantenimiento depende de dos factores: del tiempo de operación y de la falla. Cuando se realiza un mantenimiento por horas de operación, se considera como un mantenimiento preventivo. Si se realiza un mantenimiento por una falla, esta puede ser provocada por un accidente o por la fatiga de una pieza y es considerado como un mantenimiento correctivo.

Para llevar a cabo el mantenimiento del motor de combustión interna, muchas veces es necesario desensamblar componentes del motor, por ende es necesario saber el torque necesario de las partes que componen al motor. En la Tabla 25 se encuentra el torque de los componentes principales del motor y la medida de cada una de ellas.

Tabla 25: Tabla de torques

ITEM	MEDIDA	TORQUE - (N.m)
MOTOR		
TAPA CILINDRO - TUERCA	M6	8 - 12
TAPA DE CILINDRO - TORNILLO	M6x5	10 - 12
TAPA DE CILINDRO - TUERCA	M8	20 - 30
TAPA ARBOL DE LEVAS	M8x10	8 - 12
TORNILLO TAPA MOTOR IZQUIERDA	M6x50 - M6x40	8 - 12
TORNILLO ROTOR MAGNETO	M10x40	40 - 50
TORNILLO MOTOR DE ARRANQUE	M6x25	8 - 12
TORNILLO TAPA DERECHA MOTOR	M6x50 - M6x40 - M6x85	8 - 12
TUERCA FILTRO ACEITE	M14	40-50
TORNILLO ROTOR FILTRO ACEITE	M6x40	8 - 12
TUERCA PLATO DE EMBRAGUE	M14	30 - 40
TORNILLO CARTER	M6x50	8-12
TORNILLOS Y TUERCAS NO ESPECIFICADOS		
5mm		4.5-6
6mm		8-12
8mm		18-25
10mm		30-40
12mm		50-60

Para llevar un correcto plan de mantenimiento, es necesario conocer y tener los ajuste necesarios de los componentes del motor. Durante la operación del motor de combustión interna, los componentes del mismo llegan a sufrir un desgaste, lo cual genera ciertas fallas en la operación. Estos problemas pueden ser resueltos por medio de un *overhaul* tomando en cuenta los ajustes permisibles de los componentes. En la Tabla 17 se presentan los ajustes necesarios para los valores estándar de operación y los valores en donde ya es necesario acudir a un paro del motor y realizar un *overhaul* de los componentes.

Los períodos de servicios de mantenimiento para el motor sugeridos son los siguientes:

- a. Cada 150 horas, servicio menor
- b. Cada 300 horas, servicio mayor.

Gracias a las recomendaciones del Ing. Juan José Recinos, quien es experto en el tema de motores de combustión interna que operan en régimen estacionario, se recomienda un servicio del mantenimiento a las 150 horas y a las 300 para los servicios menores y mayores respectivamente ya que el motor

de combustión interna no estará operando en marcha ralentí y serán largas horas de operación hasta lograr un nivel de carga en las baterías.

Cada vez que sea necesario utilizar el prototipo diseñado, es necesaria la revisión de ciertos componentes del motor de combustión interna. Estas revisiones son necesarias para asegurar la seguridad y comodidad a la hora que el motor de combustión interna entre en operación.

Se debe revisar lo siguiente:

- a. Tensión y estado correcto de la banda de transmisión de potencia.
- b. Nivel de aceite del motor.
- c. Revisar la existencia de cualquier tipo de fuga de aceite y/o gasolina.
- d. Correctas conexiones del sistema eléctrico.

Cuando el motor haya alcanzado las 150 horas de operación, es necesario realizar las operaciones del servicio menor. Cuando se hace el servicio menor, se deben llevar a cabo las siguientes tareas:

- a. Limpieza de filtro de aceite.
- b. Cambio de aceite.
- c. Chequeo y limpieza de los bornes de la batería.
- d. Limpieza general del motor.
- e. Inspección de la condición y la tensión de faja de transmisión de potencia.
- f. Régimen de operación del motor. (@ 4,650 rpm)
- g. Inspeccionar posibles fugas de aceite y/o gasolina.

Cuando el motor haya alcanzado sus 300 horas de operación, es necesario realizar las operaciones del servicio mayor. Cuando se hace el servicio mayor, se deben llevar a cabo las siguientes tareas:

- a. Limpieza o cambio de filtro de aire.
- b. Cambio de aceite.
- c. Chequeo y limpieza de los bornes de la batería.
- d. Limpieza general del motor.

- e. Inspección de la condición y la tensión de faja de transmisión de potencia.
- f. Régimen de operación del motor. (@4,650 rpm)
- g. Inspeccionar posibles fugas de aceite y/o gasolina.
- h. Calibrar válvulas y apretar culata.
- i. Lavar el filtro de aire.

En la Tabla 26 se presenta la tabla de mantenimiento recomendada para el mantenimiento preventivo del motor de combustión interna del prototipo del vehículo híbrido diseñado.

Tabla 26: Tabla de mantenimiento

TABLA DE MANTENIMIENTO		
ÍTEM	CADA	CADA
	150 horas/año	300 horas/dos años
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	INSPECCIONAR	INSPECCIONAR
FILTRO DE COMBUSTIBLE	LIMPIAR	LIMPIAR/CAMBIAR
FILTRO DE AIRE	INSPECCIONAR/LIMPIEZA	INSPECCIONAR/LIMPIEZA/CAMBIAR
BUJIA	LIMPIAR/AJUSTAR	LIMPIAR/AJUSTAR/CAMBIAR
ACEITE	CAMBIAR	CAMBIAR
FILTRO DE ACEITE	CAMBIAR	CAMBIAR
BANDA DE TRANSMISIÓN	AJUSTAR/INSPECCIONAR	AJUSTAR/INSPECCIONAR
RÉGIMEN DE OPERACIÓN	AJUSTAR	AJUSTAR
APRIETES EN GENERAL	VERIFICAR/ AJUSTAR	VERIFICAR/ AJUSTAR

Cuando se realice un mantenimiento preventivo o correctivo, siempre es importante que se cumplan algunas medidas de seguridad.

Estas son las medidas de seguridad que se deben tomar en cuenta:

- a. Siempre aplique el freno de mano del vehículo y asegúrese de que el vehículo se encuentre en una parte plana.
- b. Después de apagar el motor, espere un tiempo prudencial hasta que este se enfríe. Tenga cuidado con el bloque del motor y con el escape ya que puede sufrir quemaduras.

- c. Al revisar el sistema eléctrico, desconecte la terminal positiva (+) de la batería.
- d. Después de realizar cualquier mantenimiento o inspección, revisar que no haya dejado herramientas o productos de limpieza ya que estos pueden dañar el motor o la salud del operario.
- e. Apretar los tornillos de los cargadores del motor, ya que si estos quedan flojos, el motor inducirá mucha vibración que puede dañar a los operarios o el estado del vehículo.
- f. Si se van a realizar pruebas con el motor de combustión interna encendido, deben hacerse en un lugar con buena ventilación ya que los gases producidos por la combustión pueden perjudicar la salud de los operarios.
- g. Utilice gafas de seguridad si se debe esmerilar una pieza.
- h. Quitarse anillos, relojes, aretes, cadenas y evite usar ropa floja.
- i. Si utiliza el cabello largo, debe recogerlo.
- j. Si es necesario soldar algo, utilice gabacha y protectores en los brazos para protegerse de los rayos ultra violeta.
- k. No trate de sacar piezas a la fuerza, utilice la herramienta correcta para el trabajo.
- l. No fumar en áreas de trabajo.
- m. Precaución con los cables de la batería, estos conducen grandes corrientes y pueden causar cortocircuito y causar heridas o daños al vehículo.
- n. Utilizar herramientas libres de grasa o aceite para asegurar un buen agarre.
- o. Esparcir arena o aserrín en caso de derramar aceite.
- p. Utilizar ropa de lona y zapatos antideslizantes con punta de acero.

Como ya fue mencionado anteriormente, la lubricación juega un papel importante cuando se desea prolongar la vida de un motor. Debido a que los aceites son utilizados para disminuir la fricción, ser agentes de limpieza y

proporcionar refrigeración en un motor, estos deben cambiarse en los periodos recomendados.

- a. **Aceite del motor:** se sugiere cambiarlo cada 150 horas de operación del motor de combustión interna. Se recomienda utilizar un aceite 20W50.

- b. **Filtro de aceite:** se sugiere cambiarlo cada vez que se realice un cambio de aceite. Este filtro debe ser comprado en las agencias MASESA bajo la orden de un filtro de aceite para una motoneta Yumbo Roadpower 125 c.c. (motor utilizado para el proyecto).

- c. **Filtro de aire:** el material del filtro de aire instalado es lavable y por ende es recomendado lavarlo con agua cada servicio y cambiarlo, por lo menos, una vez al año.

E. DISCUSIÓN

Para la reparación del motor Yumbo RoadPower 125 c.c. que se contaba, se realizó una inspección visual del aceite ya que no fue posible hacer un análisis químico para conocer el estado químico del aceite. El análisis químico al aceite hubiese servido para obtener una clara idea de que provocó la falla del motor y poder detectar desgastes de los componentes internos así como la contaminación y la el desgaste que éste sufrió.

Se analizó únicamente el estado de las válvulas, levas, vástagos y balancines ya que no se contaba con el tiempo necesario para realizar un análisis más a detalle de todos los componentes internos del motor. Un correcto nivel de ajuste de las válvulas podrá asegurar mejor consumo de combustible, no presentara dificultades al arranque y no producirá contra explosiones durante su operación. Los ajustes de los componentes mencionados anteriormente estaban dentro del límite de servicio y por ende no se requirió el maquinado de las piezas o el cambio de las mismas.

Los componentes eléctricos del motor se encontraban en mal estado y no se disponían de todos los necesarios. Se concluyó que era necesaria la compra de la planta eléctrica, el regulador de voltaje, la bobina de alta y la unidad CDI ya que, debido a las condiciones meteorológicas en donde este vehículo operaba inicialmente y a el mal cuidado de sus componentes, se observó que no funcionaban adecuadamente.

Se analizó el régimen de operación a marcha ralentí para analizar si era posible operar el motor bajo estas condiciones de trabajo. Se concluyó de que no era posible ya que a marcha ralentí, la válvula de mariposa del carburador debía de ser levemente accionada para que el motor pudiera arrancar sin problema. Se descartó la posibilidad de operar bajo este régimen ya que si se deseara operar bajo estas condiciones, era necesaria la implementación de un sistema o mecanismo que accionara la válvula de mariposa del carburador hasta que este lograra arrancar y luego libera la válvula de mariposa y operar a régimen ralentí.

De igual forma, se descartó el hecho de operar en marcha ralentí debido a que la potencia neta entregada, según el análisis termodinámico, no cumplía con la potencia demandada por el generador eléctrico.

Se acordó la reparación del motor Yumbo que se poseía en un inicio ya que el costo de la reparación era menor a la compra de un motor nuevo. Se analizó el uso de un motor de dos tiempos utilizado en carros de gasolina a escala de control remoto marca DLE debido a sus pequeñas dimensiones y peso y su alto torque y potencia neta entregada.

Se llegó a la conclusión de que el motor Yumbo era el adecuado para este proyecto debido a que el costo de su reparación está muy por debajo del costo del motor DLE. El motor de dos tiempos requiere la mezcla de un aceite para lubricar el sistema interno y el motor Yumbo posee una potencia máxima mayor al motor DLE.

Una mayor potencia instalada por parte del motor de combustión interna en el vehículo puede funcionar para futuras fases del proyecto. Como por ejemplo, si en alguna fase del mismo se desea instalar un sistema híbrido en paralelo, la potencia que recibirá el prototipo diseñado será mayor.

Para el ajuste de la válvula de mariposa del carburador, se instaló el motor de combustión interna, junto con un sistema de transmisión de potencia hacia un generador eléctrico y se realizaron pruebas de campo establecer el régimen de operación en donde se obtenga el voltaje demandado por el sistema. Se obtuvo un régimen de operación de 4,650 rpm para el motor de combustión interna.

Ya que no se contaba con un banco de pruebas para poder medir la potencia y el torque que entrega el motor de combustión interna, se procedió a realizar un análisis termodinámico del motor bajo el régimen de operación del motor. Se obtuvo una potencia al freno de 1.32 hp y un consumo de combustible de 0.16 galones por hora de operación.

Se realizaron pruebas para observar el comportamiento del motor y su disipación del calor bajo su operación. En la Figura 126 se observa el comportamiento de la temperatura del motor durante su operación. Se observa que a partir de los 10 minutos de operación, el motor de combustión interna tiende a sobrecalentarse y se obtuvieron temperaturas sobre las recomendadas (máx. 100°C). Al ser un motor enfriado por aire y sabiendo que la velocidad máxima del prototipo diseñado es de 30 km/h, la transferencia de calor forzada es pequeña. Si se sobrepasaba el tiempo de operación de 10 minutos, el motor llegó hasta una temperatura de (114°C) lo cual sobrepasa lo recomendado. Por lo tanto, se recomendó delimitar el tiempo de operación máximo de 10 minutos y así evitar fallas que se puedan ocasionar debido al sobrecalentamiento del motor.

El consumo de combustible también se obtiene del análisis termodinámico del motor, por ende, dicho consumo es un consumo teórico de combustible el cual asciende a 0.16 galones por hora.

Para el sistema de transmisión de potencia se utilizó una banda A26 con una polea impulsora de 3 pulgadas y una polea impulsada de 4 pulgadas. Se utilizó una banda tipo A ya que según los cálculos, una banda tipo A cumple con los rangos de potencia que se desean transmitir.

El espacio disponible en el chasis del vehículo para la instalación del sistema de transmisión de potencia poseía una distancia máxima permisible entre centros de 13 pulgadas. Se utilizó una distancia entre centros de 8 pulgadas ya que se tomaron en cuenta las medidas del generador utilizado (presentadas en el Apéndice E5), y se consideró el hecho de que es necesaria la implementación de un sistema tensor de la banda. Todas estas consideraciones llevaron a la selección de una distancia entre centros de 8 pulgadas.

Se utilizó una polea impulsora de 3 pulgadas ya que según la bibliografía consultada, el diámetro mínimo de polea para una banda tipo A es de 3 pulgadas. De las pruebas de campo, se observó que era necesario acelerar el motor de combustión interna para que este logre encender. Al ser un motor carburado, se ajustó la aguja de la mariposa de combustible y se observó que el motor enciende fácilmente a un régimen de 2,400 rpm. Sabiendo del Apéndice E que el generador eléctrico entrega 40 V a 1800 rpm, se obtiene una relación de velocidades de 1.33. Esta relación indica el uso de una polea impulsora de 4 pulgadas.

De acuerdo con los motores utilizados para el prototipo del vehículo híbrido, se obtuvo un grado de hibridación de 21.42%. El grado de hibridación obtenido indica una clasificación de hibridación completa. El grado de hibridación es un punto de referencia para realizar comparaciones dentro de los vehículos híbridos.

Sabiendo las medidas del motor y considerando la instalación del generador eléctrico, se ensambló un soporte rectangular de 34cm x 32 cm de acero con un perfil cuadrado de 1.5 pulgadas. En el Apéndice E se observan los planos de cada uno de los elementos utilizados para el ensamblaje del soporte instalado.

Se planteó un tiempo entre mantenimiento de 150 horas. Se consideró adecuado este intervalo ya que fue una recomendación dada por personas expertas en el tema de motores estacionarios y debido a que es un motor que opera muy sobre la marcha a ralentí. Al ser un motor que inicia su arranque con una velocidad estacionaria de 4,650 rpm, este sufrirá desgastes debido a que en un arranque en frío la lubricación del cilindro y los pistones no es la correcta hasta que haya pasado un tiempo para que el lubricante sea esparcido por todas las partes mecánicas que necesitan su lubricación.

Esto inducirá a que el aceite se desgaste a un mayor ritmo. Igualmente, se recomendó un mantenimiento mayor anual en dado caso que no se logre cumplir con las horas estipuladas para en el plan de mantenimiento. Esto se consideró apropiado ya que dentro de las funciones del aceite, se encuentra la función de limpieza. Esta función generará depósitos en el cárter lo cual desgastará el aceite haciendo que este pierda sus propiedades mecánicas.

X. DESARROLLO DEL MÓDULO DE DISEÑO DEL SISTEMA DE SENSORES Y CAPTACIÓN DE ENERGIA SOLAR

A. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO

1. Diseñar e implementar una red de sensores para recopilar datos del funcionamiento del vehículo, para su posterior análisis por el computador central.
2. Implementar un sistema de captación de energía solar, para alimentar de esta forma el sistema de control del vehículo y realizar mediciones para verificar el aporte energético de este.
3. Implementar una red eficiente de sensores capaz de indicar niveles de tanque de combustible, temperatura, velocidad, y carga de la batería, notificando en todo momento al computador central.
4. Suministrar al computador central mediciones de precisión para poder calcular el aporte energético de cada fuente de energía.

B. DISEÑO

1. MÓDULO DE SENSORES. En aspectos generales, el control del vehículo a construir será realizado por una computadora central diseñada específicamente para tal fin. Esta es la encargada de monitorear las variables de importancia en todo momento, cuantificar las cantidades de energía y combustible disponibles, así como de activar o desactivar el funcionamiento del motor eléctrico y la reversa.

La computadora central que se implementa para dicha función es programada según las funciones requeridas en relación con los restantes módulos y demás decisiones de control durante el funcionamiento el vehículo. Dado que la computadora del vehículo funcionará elementalmente con lógica

binaria y electrónica digital, es decir con señales de 0VDC y 5VDC, es necesaria la adaptación de un puente de acción funcional entre la computadora del vehículo y el resto de componentes de este, para dimensionar todas las variables que dictaminen el funcionamiento del sistema.

Estos requerimientos dan origen a un módulo encargado de monitorear frecuentemente por medio de sensores e indicadores, los datos de importancia para el funcionamiento del vehículo. La información provista por los sensores permitirá, desde la toma de decisiones, hasta el realizar análisis energéticos o simplemente informar al usuario sobre el actual estado del sistema.

El propósito del proyecto va enfocado en permitir la toma de mediciones energéticas y de rendimiento del sistema, un completo y preciso módulo de sensores es indispensable para el correcto desarrollo del proyecto.

Basado en varias conversaciones con los miembros de otros módulos y conocimientos empíricos sobre el funcionamiento de vehículos, se definió la necesidad de implementar un total de siete sensores, encargados de monitorear distintas variables y situaciones del sistema. Estas fueron temperatura del motor, nivel del tanque de gasolina, consumo de corriente del sistema, velocidad de vehículo, carga de la batería central, nivel lumínico del panel solar y eficiencia del panel solar.

Se tomó como premisa en el diseño, que los sensores y sus sistemas de mediciones tuvieran la menor vinculación posible entre sí, esto con la finalidad de aislar fallos e imprevistos que de darse en un dispositivo específico, pudiera reflejarse en otros y dañar el sistema. Para esto se tomaron consideraciones, como el fabricar PCB independientes para varios de los sensores y buscar que el controlador recibiera la información lo más procesada posible, evitando instrucciones innecesarias o acciones, que pudieran derivar en fallos futuros.

A continuación se resume la forma que se diseñó cada uno de los sistemas de sensores, las decisiones que fueron tomadas en base a estos y los percances vistos durante su puesta a punto.

a. Sistema de Medición de la Temperatura del Motor. Más como una alerta de seguridad, que un control de acción, se planteó la necesidad de un sensor de temperatura para el motor. Dado que no se definió la construcción de un sistema de enfriamiento para el motor de combustión, el sensor únicamente se encarga de medir dicha temperatura e indicar por alertas visuales distintos rangos de temperatura, como aviso de una posible falla, o riesgo para el conductor del vehículo.

Se consideró hacer la medición de temperatura inicialmente en base a una termocupla tipo K, con un rango desde 0°C hasta 400°C. De manera similar a otros sensores se diseñó para que según iba aumentando el rango de temperatura, se cambiaba en una escala de 5 niveles, desde frío hasta muy caliente. En la Figura 130, se muestra el calentamiento provocado sobre el sensor para variar los rangos de lectura.

Figura 130: Pruebas con termocupla tipo K [108]



Para la puesta a punto del sistema fue necesaria una serie de amplificadores para la señal de la termocupla, un juego de comparadores para definir los rangos de temperatura a medir.[33]

Tiempo después y ya con el motor de combustión interna funcionando plenamente, se comprobó que el rango de operación del motor de combustión medido en su chasis exterior era entre 60°C hasta 100°C (un rango menor al considerado originalmente).

Consultando con el encargado del módulo del motor, se constató que lo máximo a alcanzar por ese tipo de motores era alrededor de 150°C, temperatura que ya podía provocar un daño severo del sistema. Se decidió entonces reemplazar el sistema de la termocupla por un sensor DS18B20 (Figura 131), un sensor Dallas de temperatura programable, y que funciona directamente con un microcontrolador por medio del protocolo de comunicación denominado “one wire”.

Figura 131: Sensor Dallas DS18B20 [28]



El sensor DS18B20 permite un rango de temperatura de -55°C hasta 125°C, con una resolución de 9 a 12 bits, un voltaje de alimentación de +3.3V a +5V, y requiere únicamente un pin de comunicación, logrando medir cambios de temperatura de hasta 0.0625°C.[28]

El protocolo de comunicación “One Wire”, diseñado por Dallas, está basado en un sistema de intercambio de datos de la forma maestro y esclavo. La comunicación se produce por medio del maestro, colocando la tensión de la línea a 0 voltios durante intervalos de tiempo que varía desde 15us hasta 60us, dependiendo de la instrucción, iniciando la transmisión de información. [61]

Cada lectura del sensor DS18B20 requiere una secuencia que incluye:

- 1) Inicialización:** Consiste en un reset del bus, llevando a cero voltios durante 15us, dejándole saber al maestro que dispositivos están activos en el bus y listos para operar.

2) Comandos de ROM: Después de que el maestro detecta un pulso, este envía un código de operación de 64 bits, único para cada dispositivo. Esto le permite saber cuántos dispositivos hay y de qué tipo son, para lograr establecer comunicación con ellos.

3) Comandos de Función DS18B20: Una vez direccionado el sensor por su correcto comando ROM, el maestro está apto para escribir y leer datos de este, convirtiendo la temperatura medida a la escala de 12bits por defecto del sensor y transmitiéndola al maestro, dejando nuevamente al sensor en un estado de baja energía.

Esta secuencia debe hacerse cada vez que desee medirse la temperatura, y cualquier fallo o descoordinación de ella, desactivaría la respuesta del sensor, haciendo necesaria iniciarla nuevamente. El tiempo máximo a tomar para la lectura de la temperatura, aun con problemas de comunicación es de 750 ms.[28]

Es notable la gran cantidad de ventajas que puede ofrecer el uso de este sensor, sin mencionar el enorme grado de precisión a obtener, fue por esto que se implementó dicho sensor en un empaquetado de termocupla (Figura 132) para medir la temperatura del motor en todo momento. Esta consiste en el sensor conectado en el interior y forrado con protector termo encogible, y funcionando exactamente de la misma manera descrita anteriormente.[2]

Figura 132: Sensor Dallas DS18B20 empaquetado de termocupla



Dadas las virtudes y facilidad de uso del sensor, se decidió colocar un segundo sensor del mismo tipo, pero en su empaque tradicional, en la placa base del vehículo, este se encargaría de medir la temperatura ambiente y desplegarla en el tablero de control junto al reloj y la fecha. No es una función necesaria, pero si le da mucha elegancia y referencia al usuario al momento de utilizar el vehículo, además de ser una característica muy común hoy en los automóviles.

b. SISTEMA DE MEDICIÓN DEL NIVEL DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE. Sin temor a exageraciones, puede decirse que el diseño y construcción de este sensor en particular, represento el mayor reto y dedicación del módulo entero. Fue en todo momento una quimera, con una faz simple y minimalista, representando su funcionamiento, siempre basado en relaciones simples, switches, potenciómetros etc., pero con un lado más complejo y detallado, como lo fue su puesta a punto.

Desde la concepción del proyecto y el módulo de sensores, se expresó el deseo de diseñar este sensor en particular y no adquirir algo del mercado local.

Con base en esto, se plantearon muchas alternativas, entre ellas sensores capacitivos, descartados de inmediato por la evidente comportamiento de la gasolina, sensores ultrasónicos, olvidados dado el constante movimiento del vehículo, o posibles derrames al sensor, he incluso llegando a contemplar un sensor de peso, para medir con precisión el combustible consumido.[88]

Esta alternativa se pensó más viable, pero finalmente fue dejada de lado, dado que una medición precisa, solo podía tomarse al final de cada recorrido, no durante él, y además requería una construcción especial de un sistema estático, fijo sobre el chasis, pero que a su vez reposara directamente sobre el sensor, y necesariamente estable para no sufrir perturbaciones durante el movimiento.

Analizando exhaustivamente las necesidades, tanto de precisión como de eficiencia del sensor, se planteó una base objetivos como ayuda para poder diseñar un sistema de medición de nivel que se adaptase a las necesidades reales del problema. Los objetivos planteados para este sensor pueden resumirse en los siguientes:

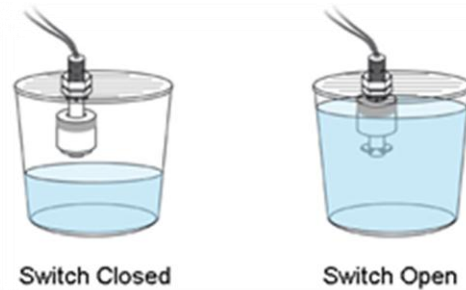
- 1) Se debe indicar el nivel del tanque de combustible en tiempo real.
- 2) Debe presentar una respuesta visual y fácil de comprender para cualquier tipo de usuario final.
- 3) Debe tener una comunicación con la computadora central bajo lógica TTL.

Actualmente en el mercado local hay una gran cantidad de dispositivos y mecanismos disponibles para conocer el nivel de un líquido, la mayoría utilizando flotadores o sensores de presión diferencial. Apasionado por las soluciones simples, se pensó que el flote era la mejor alternativa al problema, por algún motivo es una forma de medir líquidos desde siempre, pero, retomando la idea de diseñar el sistema, se buscó un diseño con flote pero que fuese de fácil construcción y que transmitiera la señal de un modo sencillo, evitando cualquier otro percance.[18]

Se planteó una propuesta diferente que consiste en la apertura y cierre de switches mediante el cambio de nivel de un flote (Figura 133). Esto permite no solo medir el nivel del combustible en el tanque, sino también transmitir inmediatamente la lectura ya transformada en una señal binaria, dependiendo de la colocación de estos según con respecto al líquido.

Este diseño es simple y práctico, funciona básicamente de la siguiente manera:

Figura 133: Switches indicadores de nivel [1]



El interruptor se cerrará al momento de entrar en contacto magnético con el flotador, cuando este se cierre permitirá el paso de una señal eléctrica. Esta señal será leída como un bit, por lo que mientras más de estos interruptores se presenten, mayor será la resolución del mecanismo.[1]

Según la cantidad de interruptores cerrados o abiertos, así será el nivel del tanque, dicho funcionamiento se puede ejemplificar de la siguiente manera:

Figura 134: Diagrama de los niveles de combustible [92]



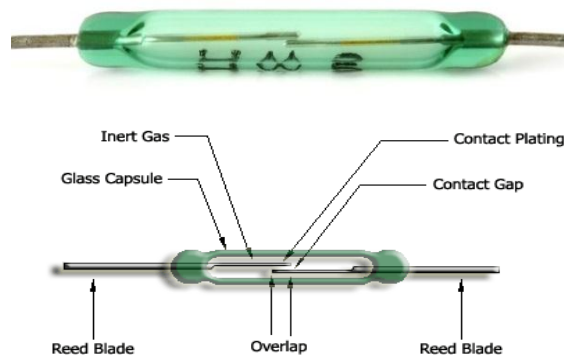
Este sistema de medición es bastante simple, ya que de una manera sencilla toma la medición del nivel y a su vez la traduce a un sistema de codificación y comunicación fácil de entender y transmitir a la computadora central.[91]

Para su construcción se decidió implementar los dispositivos denominados como Interruptor de Láminas, popularmente denominados como Interruptor Reed (Figura 135), por su nombre en inglés. Estos básicamente son un

interruptor con dos contactos separados entre sí y colocados dentro de una ampolleta de vidrio al vacío.

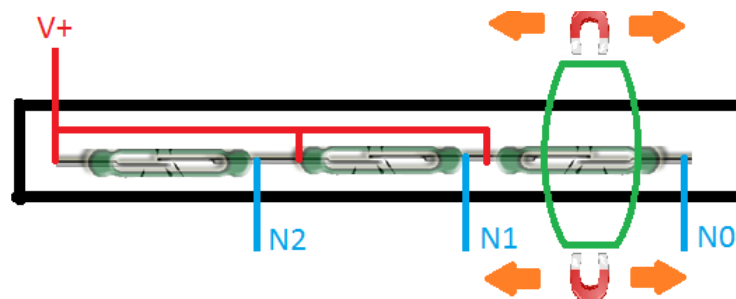
Al acercarse un campo magnético a estos, los contactos se cierran permitiendo el paso de corriente, y al alejarse el campo magnético, debido a su propia rigidez los contactos se separan.[75]

Figura 135: Diagrama de un interruptor de láminas [76]



Conectando todos estos en paralelo, a diferentes alturas, y hacerlos entrar en contacto con un flote con imanes, podría medirse adecuadamente el nivel de líquido, cumpliendo a cabalidad lo planteado para el diseño del sensor. Por lo que se procedió a fabricar dicho prototipo con Interruptores de láminas, tubos de PVC y un par de imanes de neodimio, seleccionados debido al fuerte campo magnético que emiten, para evitar cualquier falso contacto o punto ciego en el flote.

Figura 136: Diagrama explicativo del funcionamiento del sensor de nivel

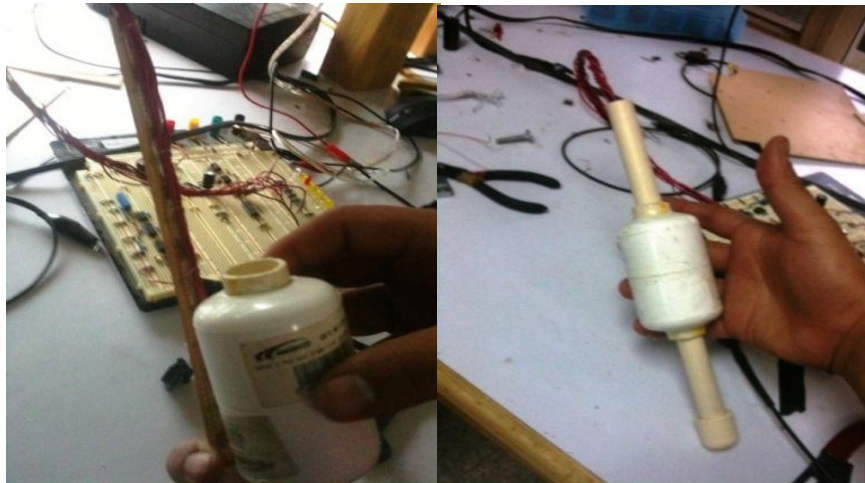


El esquema anterior básicamente representa la manera en que se planteó y construyó el sensor, una serie de interruptores conectados paralelamente dentro de un eje fijo, y con un flote concéntrico a este con imanes en su interior, por lo que al pasar sobre un interruptor lo cierra, convirtiéndolo básicamente en un cable, y según sea el interruptor que se encuentra activado en ese punto se encuentra el líquido.

Hay que destacar que la alimentación del sensor es únicamente a través de una vía de +5VDC, sin ninguna referencia. Es decir, no existe un circuito eléctrico con una polaridad referenciada en ningún componente del dispositivo. En cierto modo, el sensor es una serie de cables con uno conectado y el resto abiertos, según el estado del flote. Esta forma de conexión evita cualquier fallo por un corto circuito o la generación accidental de alguna chispa que pudiere ser problemática al interactuar en un medio altamente inflamable como el del tanque de combustible, buscando con esta disposición no solo proteger el sensor o el sistema, sino también al usuario.

Una vez planteado el diseño, se procedió a la manufactura y pruebas del mismo:

Figura 137: Prototipo preliminar del sensor de nivel



La parte gruesa es el flote, con una serie de imanes en su interior se mueve verticalmente activando los interruptores dentro del tubo central. Se había investigado con anterioridad pero era un poco complicado probar sin fabricar y el problema radicó en que el flote no flotó. Funciono perfectamente en agua, pero la gasolina fue un caso diferente. La gasolina, con una densidad aproximadamente un 40% menos que el agua, y un alto nivel de corrosión, represento un reto, ya que era necesario el rediseñar el flote con menor peso, dado que no era posible cambiar mucho sus dimensiones, dado que este se colocaría dentro del tanque de combustible. Además todos los materiales empleados deben ser capaces de soportar el contacto prolongado con el combustible.

La solución, más práctica que calculada, radico disminuir el peso reduciendo el tamaño del flote aproximadamente a un tercio del original, y pegarle en los extremos cuatro pequeños pedazos de flotes de espuma, tomados de algunos flotes desechados. Estos elementos, diseñados para trabajar con combustible, soportaban perfectamente y no se solubilizaban en él. En términos prácticos, se terminó fabricando una especie de boya para gasolina, que satisfactoriamente flota en el combustible y logra medir correctamente el nivel.

c. SISTEMA DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE CORRIENTE. A raíz del análisis de eficiencia y aporte energético del módulo de captación de energía solar, surge la necesidad de cuantificar de alguna forma cuanta energía suministra este al sistema, y qué relación existe entre esta y el total consumido durante un determinado periodo de operación. Se pensó que la forma ideal para analizar dicho parámetro era medir la corriente suministrada por la batería y el panel.

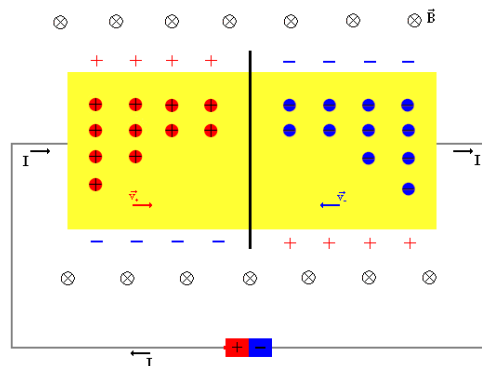
Se decidió colocar alguna forma de sensor de corriente en la conexión del panel solar al controlador de carga, y otro a la salida de dicho dispositivo hacia la carga.

Con esto se podrá conocer la corriente total consumida por el sistema, y la que proporciona el panel, es decir de toda la energía suministrada, cuanta es del panel. Esta información se utiliza para medir la eficiencia del sistema, y cuan sostenible puede ser, y si puede llegar a funcionar sin la necesidad de una fuente de energía externa.

Una vez definido el diseño del sistema medidor de corriente, era necesario definir el tipo de sensor a utilizar para las mediciones. Después de algunas investigaciones se decidió utilizar un sensor de efecto Hall.

El efecto Hall, llamado así por su descubridor Edwin Hall, es el que se produce por la aparición del campo eléctrico del mismo nombre, que se crea cuando una se hace circular una corriente por un conductor que se encuentra en presencia de un campo magnético perpendicular al movimiento de las cargas, en dicha situación aparece una separación de cargas que da lugar dicho campo Hall en el interior del conductor, perpendicular al movimiento de las cargas y al campo magnético aplicado (136).[101]

Figura 138: Explicación del efecto Hall [102]



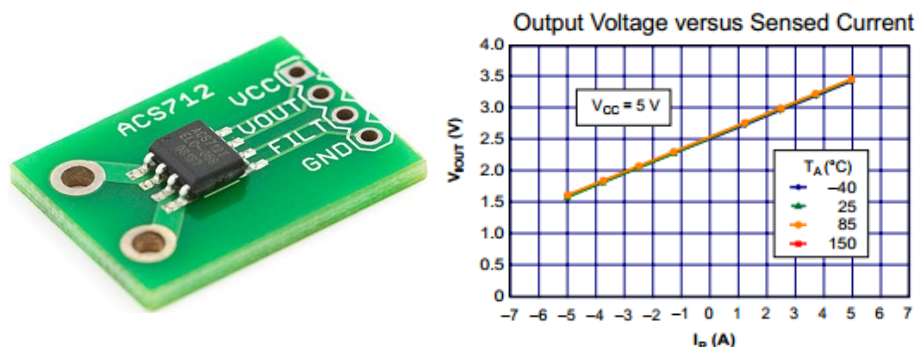
Desde hace más de medio siglo el efecto Hall ha sido utilizado como herramienta teórica-práctica para la fabricación sensores y dispositivos eléctricos. Dado que este crea una estrecha relación entre el voltaje, corriente y

campo magnético en un conductor, goza de gran versatilidad y es dispuesto para muchas aplicaciones funcionales de medición y detección.

Por ejemplo, si fluye corriente por un sensor Hall y se aproxima a un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, entonces el sensor crea un voltaje saliente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente. Si se conoce el valor de la corriente, entonces se puede calcular la fuerza del campo magnético; si se crea el campo magnético por medio de corriente que circula por una bobina o un conductor, entonces se puede medir el valor de la corriente en el conductor o bobina. Si tanto la fuerza del campo magnético como la corriente son conocidas, entonces se puede usar el sensor Hall como detector de metales.[107]

Después de revisar los sensores de efecto Hall para medición de corriente disponibles en el mercado, se optó por uno fabricado Allegro Microsystems, el sensor ACS712 es un sensor de efecto Hall con alimentación única de +5V y una salida analógica que varía entre +1.5V y +3.5V, capaz de medir la corriente de forma bidireccional, con un rango de medición de entre -5A a +5A, con un error total de 2% hasta un máximo de 5% operando bajo condiciones críticas. El sensor y su gráfico de operación son de la siguiente manera:

Figura 139: Sensor ACS712 y su gráfico de rendimiento [86]



Dado el rango de voltaje de salida del sensor, es perfecto para conectarse a un módulo ADC de un microcontrolador. Como se observa en el gráfico, el

sensor es capaz de medir corriente en el sentido contrario, es decir con una referencia negativa a la que se plantea medir. Ya que esto no pasará en ningún momento durante el funcionamiento del sistema, entonces esta parte de la salida del sensor se puede ignorar, por lo que el rango de salida se reduce entre +2.5V y +3.5V.

Para mejorar la medición y observar de una forma más notable los cambios de corriente en la salida, se diseñó un circuito acondicionador de voltaje a la salida del sensor, este escalaría la salida 0A a 5A, en el rango de 0V a +5V. Señal directamente conectada a un pin analógico del microcontrolador central del módulo de sensores.

De esta forma se logró una medición precisa, y que evita que el funcionamiento del motor genere algún tipo de ruido en el sensor, dada su naturaleza no intrusiva. El cable de alimentación soldado al sensor alimenta una vía de cobre que es el conductor alrededor del cual se forma el campo de Hall. Gracias a la acción de par de sensores es posible conocer cuanta corriente consume la computadora central, el módulo de sensores, y el módulo de potencia y encendido del motor de combustión; además de conocer que parte de esta es proporcionada por la energía solar.

d. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO.

Como en todo medio de transporte, la inclusión de un medidor de velocidad es imprescindible, por lo que su diseño e implementación de un sensor de este tipo era una etapa obligada del módulo de sensores.

Esta variable sirve de ayuda al computador central no solo para determinar la velocidad del vehículo en un momento dado, sino también como indicador de distancia recorrida, referencias que podrían ser importantes para analizar energéticamente los consumos de corriente y combustible por el sistema.

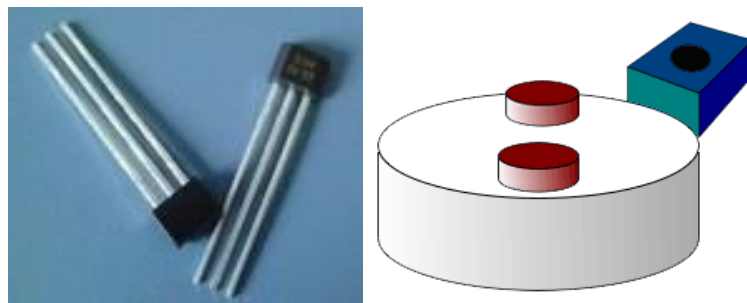
Durante el ciclo universitario se han diseñado números circuitos aplicables para esta tarea, por lo que inicialmente se pensó en uno, basado en la señal de un optoacoplador y un encoder referencial adaptado al eje principal.[36]

Dicha opción fue desestimada por consejo del asesor, ya que según él, el medio a operar por el optoacoplador se encuentra expuesto a polvo y otras partículas que generarían lecturas erróneas por parte del sensor.

Aplicando lo aprendido al seleccionar los sensores de corriente acerca del efecto Hall y como este puede ser implementado en distintos tipos de sensores, uno de ellos el de proximidad. Según el principio de Efecto Hall, cuando una corriente fluye a través de un sensor Hall y a este le es aproximado un campo magnético, el sensor responde con un voltaje saliente proporcional a dicho campo y corriente. (Figura 140)

Esta opción es, por lo tanto, la más adecuada, ya que no es alterable por cuerpos extraños, alteraciones o ruido provenientes de algún funcionamiento imprevisto durante un periodo de operación del sistema. Por tanto, indagando y cotizando en el mercado local, se decidió utilizar el sensor de efecto Hall A3144.

Figura 140: Sensor de efecto Hall y su funcionamiento [108]



El sensor A3144, es un interruptor de efecto Hall, diseñado para operar a altas temperaturas y condiciones extremas de hasta 150°C. Con un voltaje de operación entre +4.5V y +24V, protección a subidas y reversas de voltaje, resistente a estrés físico y diseño con disparador de Schmitt. Es por lo tanto apto

para trabajo de campo e industria, lo que lo hace más que ideal para la aplicación deseada. [4]

Una vez seleccionado el sensor se pasó a definir la forma en que se debería excitar a este por medio de un campo magnético, la solución obvia era un imán, pero no tanto la forma de situarlo en el eje.

Se pensó desde el diseño de algún cojinete con chumacera, hasta el extremo de la soldadura, finalmente se descartaron ambos ya que modificarían en gran forma la resistencia mecánica del eje, comprometiendo el diseño realizado por el encargado de dicho módulo.

Finalmente se decidió por pegar con pegamento industrial “Epoxico” un par de imanes de neodimio (Figura 141), estos con un campo magnético de más de 14,000 Ga, y una fuerza de tracción de 3 kg cada uno, además de la resistencia a la tracción del pegamento que puede ir desde los 100Kg/cm² hasta los 350 Kg/cm². Todo esto garantiza fuertemente la sujeción de los magnetos al eje, sin alterar físicamente su estructura. [3]

Figura 141: Imán de Neodimio [3]



Una vez definida la forma de medir la posición, y conociendo que la relación de la cadena entre el motor eléctrico y el eje es aproximadamente 8:1, y la frecuencia de operación máxima del motor situada a 3600 rpm, se espera que la lectura máxima sea de 450 rpm, o bien 15 Hz o 30 Hz, según la cantidad de imanes a colocar en el eje.

El conteo de pulsos de esta señal podría haberse realizado con un microcontrolador, pero con la finalidad de separar completamente el proceso de operación de los sensores y que los fallos de uno se reflejaran lo menos posible en el otro, se decidió que implementar un convertidor de frecuencia a voltaje, conjunto a un circuito acondicionador de señal. De esta forma la respuesta del sensor estaría lista para conectarse a algún pin analógico del microcontrolador, en lugar de activar una interrupción con al menos una duración suficiente para que se reflejen unos 15 Hz, o bien 60 ms, que podría retrasar alguna otra medición o la constante comunicación con el computador central. Probablemente esto no ocurriría, pero como se ha mencionado, el deseo de aislar lo más posible los posibles errores, y evitar fallos innecesarios en el software de control llevó a tomar la decisión de implementar el sistema de dicha forma. Fue posible así medir con gran precisión la velocidad instantánea del vehículo, permitiendo no solo el conocer el recorrido total que este realiza, sino el tipo que le lleva alcanzar una determinada velocidad.

e. SISTEMA DE MEDICIÓN DE CARGA DE LA BATERÍA CENTRAL.

La necesidad de medir la energía disponible para el funcionamiento del vehículo, lleva a plantear el diseño de un sensor para la carga de la batería. Durante el desarrollo se plantearon las alternativas de un sensor de corriente que midiera la corriente suministrada por la batería central y según las variaciones de esta se determinaba el nivel de la batería.

Dicha idea fue descartada, principalmente porque el consumo de energía era demasiado variable, al extremo de que durante las pruebas preliminares, se pensó que incluso el motor eléctrico, fabricado con una tensión nominal de 35 amperios, iba a dañarse, debido a varios picos de consumo superiores a dicha corriente, y que podían deberse a problemas externos al sistema eléctrico, o que al momento de que las baterías fuesen incapaces de mover el vehículo, aun suministran corriente al motor, no la necesaria para moverlo en ese momento, pero mayor a la que tiene a cierta velocidad, y cuando este ya ha roto su inercia.

Por lo que el medir la carga de las baterías de esta forma, podría presentar lecturas falsas en algún punto.

También, debido a iniciales problemas con el presupuesto, no fue posible adquirir una batería de 36 voltios, en lugar de eso se hizo uso de tres baterías, dos de automóvil de 12 V y una más de ciclo profundo de la misma tensión. Pero al lamentable estado de las baterías de automóvil, una de ellas especialmente se utilizó casi exclusivamente para servir de referencia en la conexión en serie de las baterías y llegar a los 36 voltios, ya que no era capaz de suministrar casi nada de corriente. A este punto, la corriente suministrada por la batería depende, casi exclusivamente, del acumulador de ciclo profundo.

Se observó durante una pruebas preliminares, que la tensión de alimentación caía de manera notable al iniciar a descargarse esta última batería de ciclo profundo, por lo que era posible medir los cambios de tensión 30 V, donde las otras baterías ya se encontraban completamente descargadas, y la de ciclo profundo casi expiraba.

Realizando varias pruebas de carga y descarga se logró encontrar un intervalo de tensión para las cargas de las tres baterías conectadas en serie, que sirvió de guía para ajustarlas a una escala de cuatro niveles de carga, es decir, carga completa, carga media, carga baja, y descargada.

El motivo principal de esto, es que la función inmediata de la batería descargada radicaba en activar un sistema de actuadores que enciende el motor de combustión interna y activa el alternador para iniciar la carga de las baterías, y continuar con la alimentación del motor eléctrico.

Ya que la aplicación no demanda una precisión muy elevada de la carga de la batería, se descartó la opción del sensor de corriente, y se optó por un sistema que tomará la tensión de la batería en todo momento y avisara al computador central su estado, y en caso de disminuir, sirviera de indicador para activar el sistema de combustible fósil del vehículo, por lo que se planteó un medidor de nivel de carga. [40]

Este medidor se encarga de determinar el nivel de carga que presentan las tres baterías instaladas en el vehículo. Estas presentan una caída de tensión proporcional a su nivel de carga, aspecto importante ya que, de este depende la potencia máxima disponible para el funcionamiento del sistema.

Se plantea la construcción de este módulo con un diseño de un circuito de comparadores a base de amplificadores operacionales. Esto permitirá no sólo, que el sistema conozca el nivel de carga de la batería con un nivel de precisión a placer, es decir muchos niveles de tensión, sino que también facilitará en gran medida la comunicación de las mediciones con el computador central.

Para diseñar este módulo se plantearon ciertos objetivos, en los que se pueden destacar los siguientes:

- 1) Se debe indicar el nivel de carga de la batería del vehículo.
- 2) Debe presentar una respuesta visual y fácil de comprender para cualquier tipo de usuario final.
- 3) Debe tener una comunicación con la computadora central bajo lógica TTL.
- 4) Debe presentar un aceptable nivel de precisión al momento de la medición.

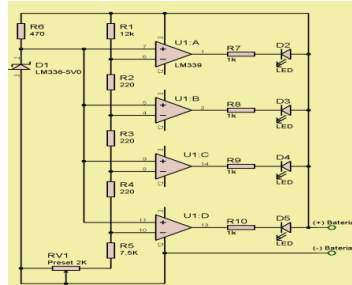
El funcionamiento del circuito está basado en la conexión de comparadores de tensión acondicionados en base a amplificadores operacionales.

El comparador es un componente que presenta una salida en base a la diferencia de tensión presente en sus terminales de entrada. Al momento de tener una señal mayor a la referencia que se le coloca, este presentará una salida positiva, y al momento de presentar un potencial menor, su salida será de 0 V.

Esto permitirá colocar distintos niveles de voltaje y realizar un número de comparaciones dependiente únicamente de los requerimientos de precisión para la medición. En el circuito propuesto (Figura 142), las entradas positivas de

todos los comparadores se conectan a un valor de tensión fijo de 5V. Este valor está provisto por una referencia de tensión.

Figura 142: Circuito medidor de carga [92]



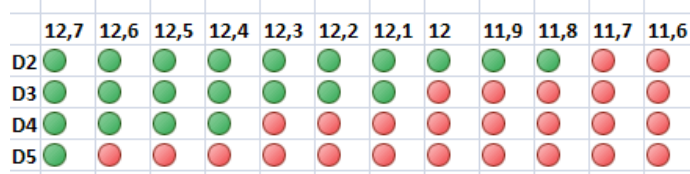
Se puede observar una red resistiva de 5 resistencias conectada entre los bordes de la batería. La misma es un divisor de tensión al cual se conectan las negativas de los comparadores según se puede ver en el esquema. Gracias a los valores de resistencias elegidos, este divisor hace que la tensión en las entradas negativas sea próxima los 5v. [91]

Una batería de plomo y ácido de 12v con su máxima carga disponible tiene una tensión de salida ligeramente superior a su tensión nominal, y a medida que se usa la batería y se va descargando esta tensión disminuye hasta una tensión variable que depende del estado físico de los reactivo del acumulador, tal fue el caso de las baterías dañadas con las que se trabajó. Por lo que se ira comparando el voltaje de la batería en distintas etapas, lo que permitirá saber con precisión el voltaje disponible en estas, antes de que alcancen su tensión mínima al momento de estar descargadas. [91]

Inicialmente se probó con un juego de diodos emisores de luz (LED), para realizar pruebas, mediante este análisis, es posible concluir que a medida que la tensión de la batería va disminuyendo, disminuye la tensión en las entradas y cuando esta pasa a ser menor la de referencia el LED conectado al comparador se apaga. Los LED se serán una representación visual de la forma en que se descarga la batería ya que estos se irán apagando según sea el voltaje presente en esta. [91]

El funcionamiento del sistema puede verse en esta imagen:

Figura 143: Niveles de carga de la batería [92]



La implementación de este módulo se plantea es bastante simple, una vez determinado el rango de tensión de carga y descarga, (único para cada batería), el sistema de comparadores realiza todo el trabajo. Después se decidió omitir la construcción de un indicador visual, y representarlo gráficamente en el tablero con otras variables del sistema.

Un punto a tomar en cuenta fue que para poder utilizar adecuadamente los comparadores, debiere existir una tierra en común, y por teoría de Instrumentación Electrónica, es sabido que las tierras compartidas son un medio óptimo para la propagación de ruido, situación percibida indirectamente en otras pruebas. Para esto se estableció un sistema de lectura con optoacopladores conectados tanto a la tensión de 36 voltios, como al neutro de las baterías, se activarían durante un corto periodo de tiempo, indicado por la señal de control de un microcontrolador, propagaría dicha tensión a través de los comparadores y finalmente sería registrada por el controlador de sensores y enviada al computador central.

Una vez realizado este proceso, se desactiva la señal de los optoacopladores, cortando el vínculo las tensiones de las baterías y evitando que el ruido del motor se transmitiera a los dispositivos electrónicos a través de la tierra compartida. Dado que por la naturaleza de la medición, el sistema de comparadores debe ir conectado en paralelo con las terminales de la batería central, por lo que cualquier pico de corriente podía drenarse y dañar severamente el resto del sistema, por lo que con esta medida se previno de cualquier falla potencia tanto por sobrecarga como ruido.

2. MÓDULO DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR

a. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR. Es importante mencionar la gran fuente de energía solar que Guatemala posee durante el transcurso del año. Es por eso que se desea implementar un módulo de captación de este tipo de energía, basado en un panel solar como techo del carro, buscando aprovechar dicho recurso natural y a su vez comprobar la eficiencia de este tipo de sistemas, en aplicaciones alternativas a su venta en el país, como lo es para iluminación y calentadores. [104]

Dicho panel solar será utilizado como generador de corriente eléctrica en todo momento. Inicialmente se planteó que el panel solar lograra un ahorro en cuanto a combustible del motor de combustión interna ya que mientras el carro se encuentre en un lugar abierto, las celdas solares producirán corriente eléctrica y utilizando esta para alimentar las baterías del motor eléctrico presente en el sistema del vehículo.

Para el desarrollo de esta etapa se buscó el apoyo de la empresa local Advanced Energy y por medio de contactos con el propietario de dicha institución se recibió el respectivo asesoramiento y ayuda en la adquisición e instalación de los paneles solares. Esto representó una gran ventaja, ya que al ser respaldados por expertos en el tema de energía solar, fue posible tomar decisiones sobre el diseño a implementar, buscando desde luego, el obtener los mayores beneficios de los diseños y equipos instalados en el vehículo, obteniendo mejores resultados, al final del proyecto.

Con base en este apoyo se replanteó el uso de los paneles solares ya que debido a la limitada eficiencia de estos, no era viable o al menos eficiente el cargar las baterías del motor. La corriente que las baterías requerían en comparación con la que el panel solar suministra era abismalmente superior, por lo que el colocar el panel en dicho punto no era un aporte notable. [104]

Como prevención para un óptimo funcionamiento del vehículo, se decidió separar completamente el sistema eléctrico del electrónico, buscando que la energía de la computadora del carro y sensores, fuera limpia y aislada de

cualquier ruido proveniente del motor eléctrico. Esto garantizó un funcionamiento estable de las señales analógicas y digitales, al momento del funcionamiento.

Se dispuso de una batería de menores dimensiones, perteneciente a un regulador UPS, dicha batería, conectada a un controlador de carga y al panel solar, proporciona de energía suficiente para toda la red de dispositivos electrónicos del vehículo, recargándose constantemente con energía solar, y evitando el paso de ruido al sistema, asegurando lecturas y operaciones exitosas en el control de la computadora central.

Para poder medir y controlar el aporte energético del panel solar, se dispusieron dos sensores analógicos de corriente de efecto Hall, colocados en las conexiones del panel solar y la batería de alimentación, con esto pudo medirse la corriente de ambos dispositivos, y conocerse con precisión cuanta de ésta es aportada directamente por el panel solar.

El módulo de captación de energía solar se planteó de forma experimental, es decir no se buscó que fuese una fuente de energía vital para el vehículo, únicamente por motivos demostrativos y didácticos, tratando de llegar a conocer que tan eficiente puede ser el uso de la energía solar en medios de transporte u funcionalidades a fines a dicho ámbito.

Sin embargo, con el rediseño en la ubicación del panel solar y su aporte, la función es de gran importancia, ya que la batería de alimentación ahora se mantiene siempre con carga, además de que en base a mediciones realizadas, únicamente con la utilización del panel podría utilizarse gran parte del sistema de dispositivos. Dicho de otro modo, el sistema de alimentación electrónico del vehículo es casi completamente auto sostenible, sin necesidad de carga externa o terceras fuentes de alimentación al sistema.

Para la selección del panel solar se tomó de base dos modelos, uno con tecnología mono-cristalina, de 50W, con gran estabilidad y eficiencia, siendo esta la nueva tendencia de estos productos en el mercado nacional, y la otra opción, un panel solar más convencional con celdas fotovoltaicas, de 22W de potencia, el típico panel utilizado hoy para iluminación en viviendas. [104]

Finalmente se decidió por la segunda opción, por dos razones, la primera, es que este modelo tiene unas dimensiones de 43x58 cm, en contraste con el otro que era de 53x82 cm, este sacrificio de potencia se tomó, en base a que la construcción de un soporte para el panel de mayores dimensiones podía no solo ser complicado, sino que incidir negativamente en la aerodinámica del vehículo, aspecto que desestimó su compra.

Como segunda razón, el desembolso económico necesario para el panel mono-cristalino era de tres veces el otro modelo, y según el presupuesto con el que se contó se decantó por el modelo fotovoltaico.

Otro aspecto que surgió como propuesta para el sistema, fue el de implementar una estructura móvil para el panel solar, capaz de colocarlo en un ángulo óptimo y con respecto a la posición del sol. Pero dicha idea fue descartada, ya que según el asesoramiento tenido para la elaboración del módulo de captación de energía solar, la eficiente máxima a alcanzar con implementar dicho sistema oscilaría entre un 6 u 8%, es decir se gastaría más dinero y tiempo en realizar dicho mecanismo que en la energía adicional que podría obtenerse, sin tomar en cuenta el gasto energético necesario para mover y orientar el panel.

Según las sugerencias de los ingenieros de Advanced Energy (Figura 144), la posición geográfica de Guatemala le permite obtener un nivel de radiación solar bastante estable, lo que hace innecesario este tipo de sistemas. Así que en base a todos los argumentos descritos, se descartó la implementación del sistema móvil del panel.

Figura 144: Personal de Advanced Energy con el que se colaboró



b. SISTEMA DE MEDICIÓN DEL NIVEL LUMÍNICO. Como fue mencionado anteriormente, se planteó la necesidad de medir las condiciones de operación del panel solar, y la energía que este suministra al sistema de control durante el funcionamiento del vehículo. Además de la instalación del mencionado sensor de corriente de efecto Hall, se dispuso un sensor de iluminación como indicador de la luz que recibe el panel en un determinado momento.

Primeramente se pensó en un sensor de radiación solar, pero se desestimó, debido a que los niveles de radiación solar son bastante estables por región, y esta podía calcularse fácilmente ya que al medir la corriente que propicia el panel y sus dimensiones, era cuestión de aritmética determinar su nivel radiación con dimensiones $[W/m^2]$. [105]

Pensando que este aporte podía ser redundante y poco significativo, se seleccionó un sensor convertidor de luz a frecuencia, que toma en cuenta parte de la irradiancia que llega a él directamente y emite una señal cuadrada a una frecuencia proporcional a la luz recibida. Esto sirvió para definir el nivel de intensidad lumínica que es recibida directamente por el panel solar.

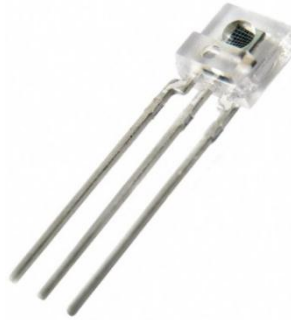
Realizando pruebas experimentales, se comprobó que los niveles de voltajes a plena luz del día no varían mucho, pero la corriente que este aporta sí. Es por eso que al recibir un nivel lumínico más directo, el panel aporta un nivel de corriente estable que recarga batería conectado a un controlador de carga.

La idea principal de este sistema de combinación entre sensor de corriente Hall y sensor Luz a frecuencia, recae en determinar cuanta energía proporciona el panel y en qué estado se encuentra. Es decir, el panel proporciona cierto porcentaje de energía al control, operando con un nivel lumínico medio, bajo, o muy alto. Esto ayudará a medir su eficiencia de un modo más preciso.

La motivación principal de este diseño surgió en que las lecturas, mediciones y casi un completo funcionamiento del sistema se darán cuando el medio se encuentre bajo desplazamiento, algo nada parecido al motivo con el cual fue construido el panel solar, que radica básicamente en estar estático todo el día.

Es en cierto modo, una forma de medir la eficiencia “instantánea” que provee la energía solar al sistema.

Figura 145: Sensor lumínico TSL235R [87]



Para realizar la medición se aplicó el sensor de lumínico TSL235R (Figura 145), que combinado a un circuito de frecuencia voltaje y un pequeño acondicionador de señal, se logró escalar todo el rango de luz perceptible del sensor a una escala analógica de 0 a 5V, perfecta para ser conectada a un módulo análogo digital de un microcontrolador, siendo esta la forma final del diseño, y en la cual se determinó el nivel lumínico expresado como una de las variables desplegadas en el tablero por el computador central. [86]

3. SISTEMA CONTROLADOR DE SENSORES. Sin lugar a dudas el “director de orquesta” del módulo de sensores es en sí mismo el controlador de estos. Este se encarga de monitorear constantemente el estado de las variables de operación, estableciendo contacto directo con los sensores e informando en todo momento al computador central de dichas cantidades. Dichas tareas se implementaron a través de un microcontrolador PIC16F887.

El PIC16F887 es un producto de la compañía Microchip. Dispone de todos los componentes disponibles en la mayoría de los microcontroladores modernos. Por su bajo precio, un rango amplio de aplicaciones, alta calidad y disponibilidad, es una solución perfecta aplicarlo para controlar diferentes procesos en la industria, en dispositivos de control de máquinas, para medir variables de procesos, etc. [65]

La CPU cuenta con sólo 35 instrucciones simples. Cabe decir que para poder programar otros microcontroladores en lenguaje ensamblador es necesario saber más de 200 instrucciones. [65]

El tiempo de ejecución es igual para casi todas las instrucciones y tarda 4 ciclos de reloj. La frecuencia del oscilador se estabiliza por un cristal de cuarzo. Las instrucciones de salto y de ramificación tardan ocho ciclos de reloj en ejecutarse. Esto significa que si la velocidad de operación del microcontrolador es 20 MHz, el tiempo de ejecución de cada instrucción será 200nS. [65]

El mismo contiene una variedad muy amplia de módulos que harán posible el despliegue de cada una de las variables del carro. Los módulos a utilizar, serán el módulo de comunicación USART, y los pines de entrada y salida digitales de forma general.

Haciendo uso de varios módulos análogo-digital, dos vías de comunicación one-wire, el módulo de comunicación UART, algunos puertos digitales, y operando bajo un reloj externo de 8 MHz, se logró cubrir a cabalidad la funcionalidad y procesamiento de ocho sensores conectados a este y la comunicación con el computador central. [66]

Figura 146: Diagrama del PIC16F887 [66]



Conectado según la Figura 146, y usando como plataforma de programación el entorno de desarrollo MikroC Pro® de Mikroelektronika®, siendo este de gran

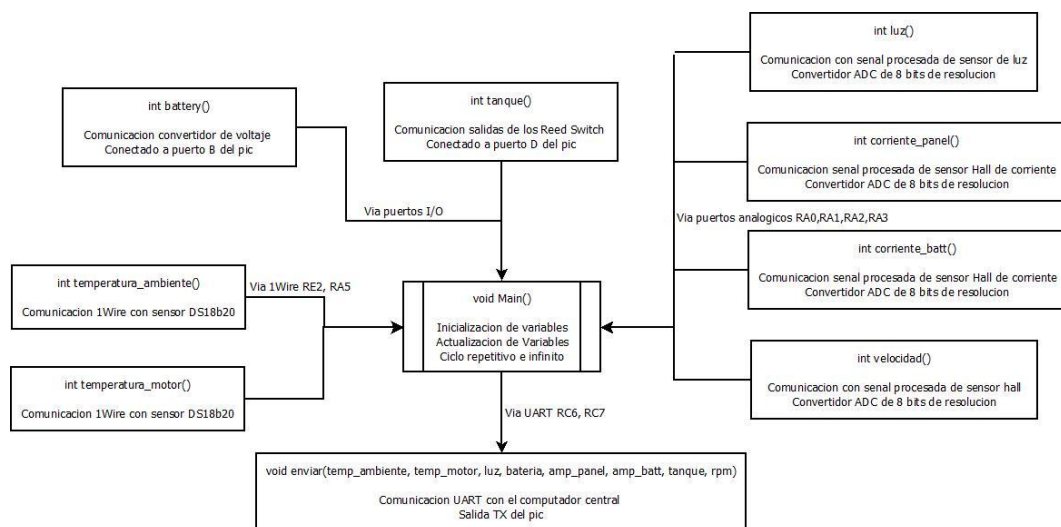
ayuda al simplificar protocolos de comunicación como los empleados entre el controlador y la computadora central y los sensores de temperatura, por ejemplo.

Se programó de una forma estructurada, basada en un procedimiento principal encargado de la inicialización y constante actualización de variables, y nueve procedimientos secundarios, uno por cada variable, encargado de su medición y procesamiento, y finalmente uno encargado de transmitir directamente al computador del vehículo.

Se definió un pequeño protocolo para transmitir las mediciones con el computador central basándose en el orden de transmisión. El computador estableció la transmisión por interrupciones, al momento de iniciar la transferencia de datos, enumera estos por el orden en que son recibidos y según sea dicha secuencia, los reconoce según el tipo de variable que es. Esto simplifica el envío de información, convirtiéndola de una sola vía, y eliminando la necesidad de un bus de datos.

La estructura realizada para el programa del controlador de sensores es de la siguiente forma:

Figura 147: Estructura de programación del controlador de sensores



Para la apropiada interpretación de la información proveniente de los sensores se hizo uso en muchos casos de un módulo de convertidor análogo

digital incorporado en el microcontrolador utilizado, este presenta las siguientes características:

a. MÓDULO CONVERTIDOR ANÁLOGO-DIGITAL. Un convertidor análogo digital es un dispositivo electrónico utilizado para convertir una señal análoga en una sucesión binaria representativa de esta, y basada en un voltaje dado. (Figura 148) [59]

El convertidor toma numerosas muestras de la señal analógica asignando a distintos valores de voltaje de estas un rango de valores que depende de la resolución de este dado por 2^n , donde n es el número de bits de resolución del convertidor. [95]

Gracias a esta herramienta es posible representar digitalmente señales asimétricas y poco uniformes, permitiendo su análisis y estudio con instrumentos digitales.

Figura 148: Funcionamiento de un Convertidor ADC [96]



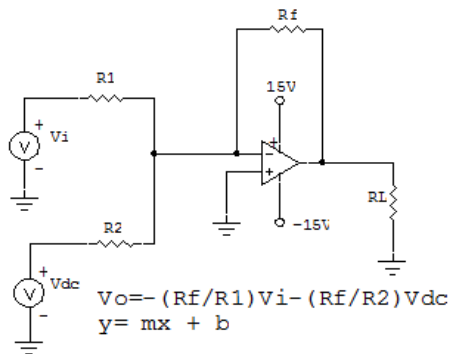
Un circuito de gran utilidad y amplia aplicación en los diseños de los sistemas de medición fue el circuito acondicionador de voltaje. Este fue empleado en los sensores de velocidad, corriente e iluminación. Su funcionamiento se detalla a continuación:

b. CIRCUITO ACONDICIONADOR DE VOLTAJE. El acondicionador de voltaje es un circuito de amplio uso en la electrónica moderna. Este se utiliza para tomar rangos de señales y expandirlas a un rango deseado, esto en base a los cálculos correspondientes al valor de los componentes definidos para tal circuito.

Es altamente empleado para modificar señales de lectura de sensores y otros dispositivos adecuándolas al rango deseado para su posterior procesamiento, sirviendo de acople entre distintos dispositivos. En el caso del presente proyecto, sirvió como un puente para analizar la señal de los sensores analógicos, con un dispositivo digital como lo es el controlador de sensores.

El circuito acondicionador de señal se comporta de acuerdo con la ecuación de una línea recta, $y = mx + b$. A continuación se muestra un circuito acondicionador de señal. [97]

Figura 149: Diagrama de circuito acondicionador de voltaje [97]



Si se compara la ecuación $y = mx + b$ con el circuito de la figura anterior, se encuentra que y corresponde al voltaje de salida V_o , x es el voltaje de la señal de entrada V_i , m corresponde a la ganancia del circuito $-$, y b es $-$ veces V_{DC} . Por lo tanto, si en la aplicación que interesa se utiliza un sensor que produce una señal de entrada medida respecto a la referencia, y que hay que amplificar y desviar, entonces lo que se puede utilizar es un acondicionador de señal. Para diseñar un circuito acondicionador de señal es necesario obtener la ecuación (respuesta) del circuito. [96]

La ecuación del circuito se obtiene tomando en cuenta lo que se recibe, las condiciones de salida del sensor, y después transformando lo anterior en lo que se desea (condiciones de entrada de un dispositivo digital como un A/D o un microcontrolador, por ejemplo). [96]

C. METODOLOGÍA

La metodología que se empleó para la completa realización del proyecto planteado, consistió básicamente en identificar las necesidades de medición y operación presentes en el sistema de control del vehículo, y que deben ser manejadas o analizadas a través de la computadora central.

Esta identificación de necesidades, se llevó a cabo a partir de las variables visualizadas en el sistema, esto permitió conocer los valores de sus características, rangos y valores, lo que llevó a realizar un análisis exhaustivo del funcionamiento general del vehículo. El logro de este aspecto radica directamente en las conclusiones finales del proyecto, ya que estas se ven argumentadas en las mediciones realizadas.

Después de identificar las necesidades, se procedió a diseñar un circuito electrónico y/o mecánico, capaz de realizar el propósito de satisfacer el problema o necesidad planteada al inicio, y en caso de encontrar una complicación de diseño, se procederá a buscar formas existentes o alternativas de realizar la tarea programada. Esto mediante la investigación en línea, de métodos o soluciones específicas, creadas con base en sistemas electrónicos.

El diseño debe ser lo más simple posible, pero que cumpla de manera adecuada con lo requerido. Se diseñó siempre según a las limitaciones existentes por el sistema eléctrico del vehículo (tensiones y corrientes máximas disponibles), buscando la mayor eficiencia posible, para evitar un alto consumo de energía.

También el diseño contempló un módulo de seguridad, que provea protección tanto a los componentes del diseño, como a componentes de otros sistemas. Esto previene tanto lecturas erróneas de los sensores, como también el daño de los dispositivos implementados en el sistema. De manera forzada, el sistema debe adecuarse para poder ser un puente de interacción entre los sensores de medición analógicos, y la computadora central del vehículo, funcionando bajo lógica digital. Esto debe realizarse mediante la traducción de

los datos medidos por los distintos sensores a un medio lógico-digital compresible para el sistema de control.

Se buscó siempre que la parte final del diseño incluyese, de ser posible, un análisis de simulación virtual completo y minucioso acerca del comportamiento del diseño realizado, y cómo éste puede reaccionar tanto en su rango de operación, como bajo situaciones críticas e inesperadas de funcionamiento.

Posteriormente a la aceptación del diseño se realizó una implementación de prueba en protoboard, con la finalidad de corroborar la eficiencia del funcionamiento planteado, identificar fallos existentes y en caso de ser posible optimizar el rendimiento mejorando la funcionalidad del diseño. Finalmente una vez aprobando que el diseño satisfaga el problema o necesidad expresada al inicio, se procedió implementar físicamente en el vehículo.

La metodología de trabajo expresada anteriormente se llevó a cabo para todos los sistemas a implementarse en el vehículo. Y para una u otra necesidad que fue surgiendo durante la construcción y el diseño del módulo de sensores.

D. RESULTADOS

Todos los sistemas diseñados, fueron construidos y probados en protoboard de forma individual y simultáneamente, conectados con el controlador de sensores, pruebas que sirvieron para optimizar errores y definir los diagramas finales de conexiones entre dispositivos implementados posteriormente en PCB haciendo uso del software de diseño y simulación de circuitos Altium Designer 09®.

Las pruebas realizadas fueron llevadas a cabo en el laboratorio buscando que los sensores operaran bajo condiciones cotidianas y/o similares a las que podrían experimentar cuando sean instalados en su posición definitiva dentro del vehículo.

La información recabada durante los ensayos y el correspondiente diseño de los diagramas de cada uno de los diferentes sistemas se explican a continuación:

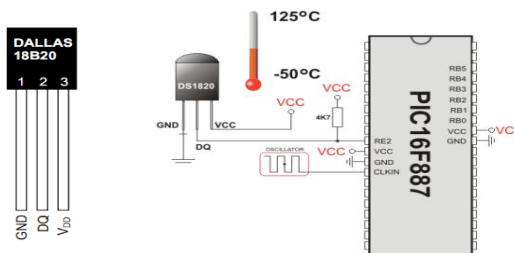
1. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE Y DEL MOTOR. El diseño de las mediciones de temperatura se realizó en base al sensor DS18B20, se forma de conexión según su hoja de datos y diagramas de Mikroelektronika® requiere únicamente alimentación y una resistencia como pull-up para implementar adecuadamente el protocolo 1-Wire.

Se adquirieron dos sensores, uno en su empaquetado tradicional TO, similar a un transistor, y otro del mismo modo, pero situado dentro de una termocupla de aluminio. Ambos de idéntica forma de conexión, el primero destinado a ser colocado en la placa base, junto al controlador de sensores y el segundo, para ser colocado directamente sobre el motor de combustión.

a. SENSOR PARA TEMPERATURA AMBIENTE. Éste fue probado directamente sobre el hardware de desarrollo y programación EasyPic6®, haciendo uso de las librerías 1-Wire de MikroC®.

1) Conexión del sensor DS18B20

Figura 150: Diagrama de conexión del sensor DS18B20 [61]



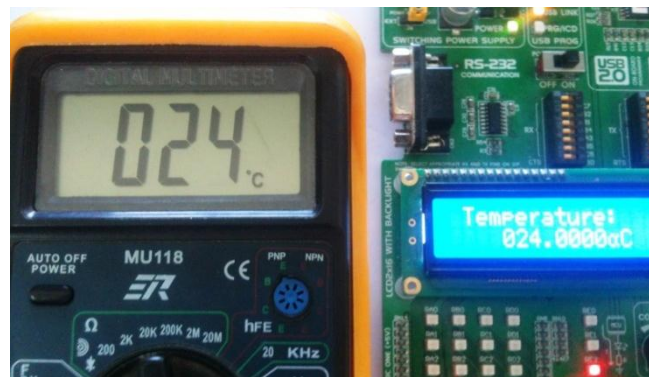
2) Localización del sensor en el EasyPic6. En este caso se sitúa el conductor (Jumper) para conectar la salida del sensor al pin RE2, tal como en el diagrama anterior.

Figura 151: Módulo de conexión del sensor DS18B20 en el EasyPic6



3) Pruebas realizadas. Se programa el PIC16F887 para leer el sensor y se comparó la temperatura registrada para el ambiente del laboratorio medida por el sensor y la lectura de un multímetro digital con dicha función.

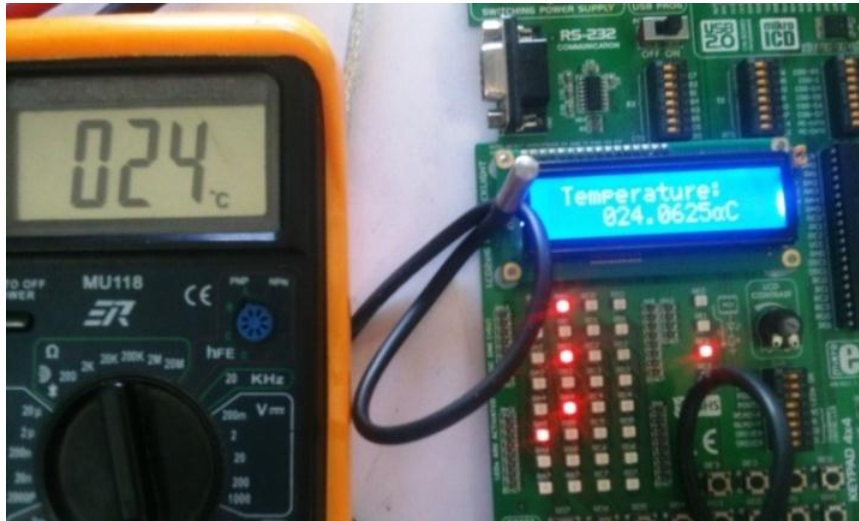
Figura 152: Comparación de lecturas de temperatura ambiente



b. SENSOR PARA TEMPERATURA DEL MOTOR. La conexión de este sensor en forma de termocupla se realizó en un protoboard, con la salida conectada al pin RA5.

1) Pruebas realizadas. Se repitió la medición registrada para la temperatura ambiente, comparándolo nuevamente con multímetros digitales.

Figura 153: Lectura de temperatura ambiente con termocupla de DS18B20



Haciendo uso de un cautín, se procedió a calentar ligeramente el sensor antes de que este llegara por encima de los 125° C, que es el límite al cual este puede operar.

Una vez registrar una lectura de temperatura, se procedió a transferir el cautín a un termistor cuya temperatura es registrada por un multímetro digital.

Antes se probó calibrar dicho termistor, haciendo uso nuevamente de la lectura de la temperatura ambiente.

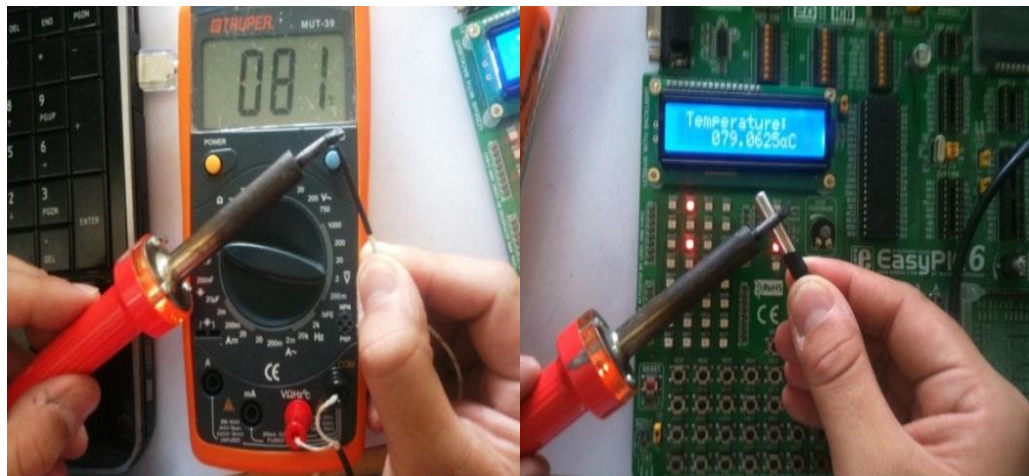
Temperatura del ambiente del laboratorio, comparada con dos multímetros:

Figura 154: Lectura de temperatura ambiente con tres dispositivos distintos



Con el cautín a temperatura ambiente:

Figura 155: Lectura de temperatura con el cautín calentándose



2) Datos registrados

Tabla 27: Mediciones del sensor DS18B20

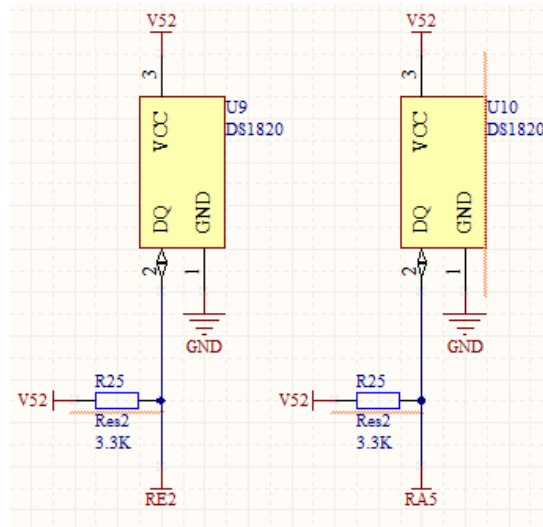
Temperatura ambiente		
Fuente	Valor	Error
Sensor DS18B20	24	-
Multímetro Digital	24	0%

Tabla 28: Mediciones del sensor DS18B20 empaquetado como termocupla

Temperatura ambiente			
Medición	Fuente	Valor °C	Error
Temperatura Ambiente	Sensor DS18B20	23.6875	1.30%
	Multímetro Digital	24	-
	Multímetro con Termistor	23	4.17%
Cautín no precalentado	Sensor DS18B20	79.0625	2.39%
	Multímetro con Termistor	81	-

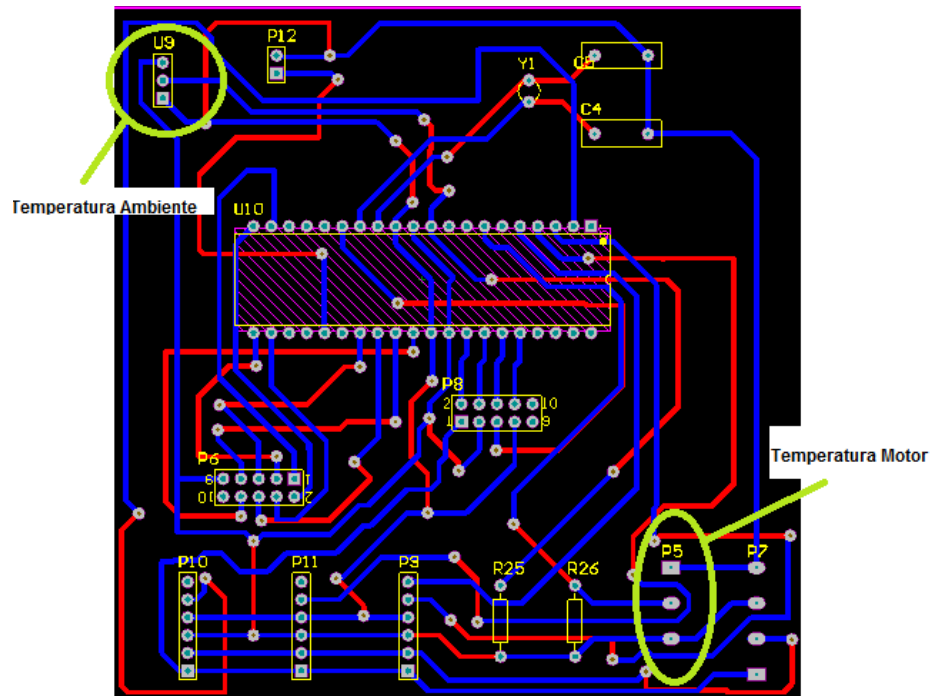
3) Esquemático en Altium®

Figura 156: Diagrama de conexiones DS18B20 en Altium Designer®



4) Diseño de PCB en Altium®

Figura 157: Diseño de PCB para sensor DS18B20 en Altium Designer®



2. SISTEMA DE MEDICIÓN DEL NIVEL DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE.

Este sensor fue diseñado probando el flote tanto en agua como en gasolina, para asegurar la medición. Primeramente se probó la sensibilidad de los Interruptor de láminas y si el sistema funcionaba como era deseado y luego haciendo uso del tanque lleno de gasolina y un carro de servicio, se procedió a medir el vaciado observando el comportamiento registrado desde un puerto del EasyPic6®.

Por la forma en que se diseñó este sistema y su funcionamiento, no se comparó con ningún otro sistema o sensor. Su medición es puramente visual, contrastándola con la posición del flote en distintos puntos.

a. PRUEBA DE LOS INTERRUPTOR DE LÁMINAS

Figura 158: Pruebas de respuesta del interruptor de lámina



b. SISTEMA CON EL SENSOR MONTADO EN EL TANQUE LLENO.

Se probó la lectura con el tanque lleno, y vaciándose con un flujo continuo.

Figura 159: Sistema empleado para probar el sensor de nivel de combustible



Figura 160: Flujo de combustible para las pruebas de respuesta del sensor de nivel

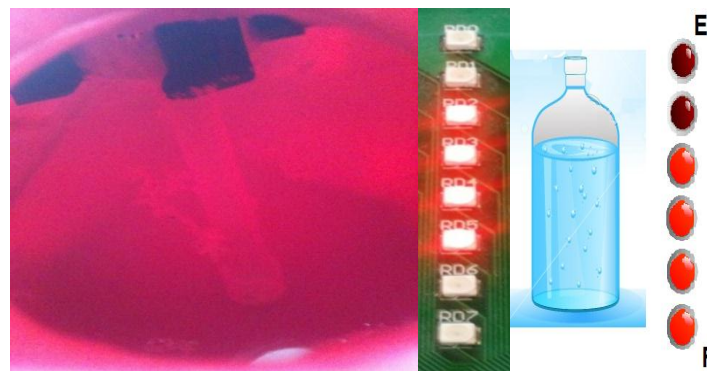


c. MEDICIONES Y POSICIÓN DEL FLOTE CON EL TANQUE VACIÁNDOSE. La medición del sensor se refleja en un vector de 6 bits, con el RD5 como el indicador más significativo. Se activan varios simultáneamente dado que el campo magnético del imán puede afectar los interruptores si estos se encuentran cercanos a la posición donde este se encuentra.

A continuación se presentan tres estados del tanque con diferente nivel de combustible, la medición y una representación gráfica de cada estado:

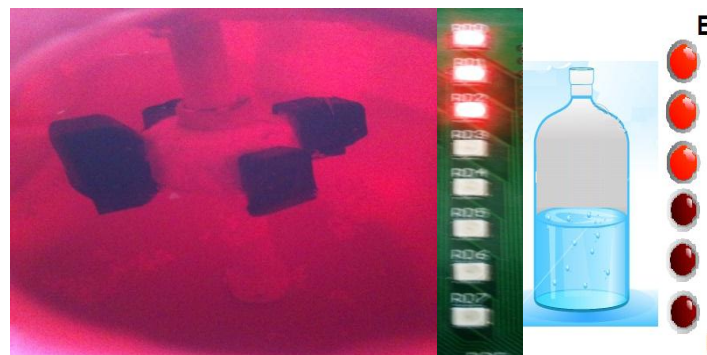
1) Tanque lleno

Figura 161: Lectura del sensor con el tanque lleno



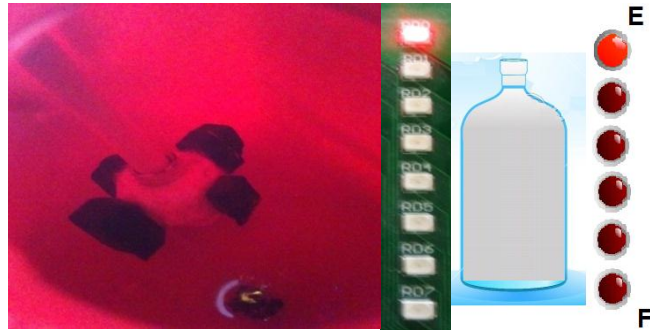
2) Tanque a la mitad

Figura 162: Lectura del sensor con medio tanque



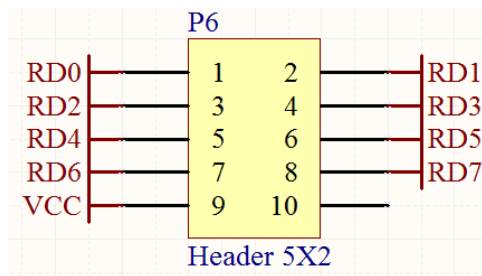
3) Tanque vacío

Figura 163: Lectura del sensor con el tanque vacío



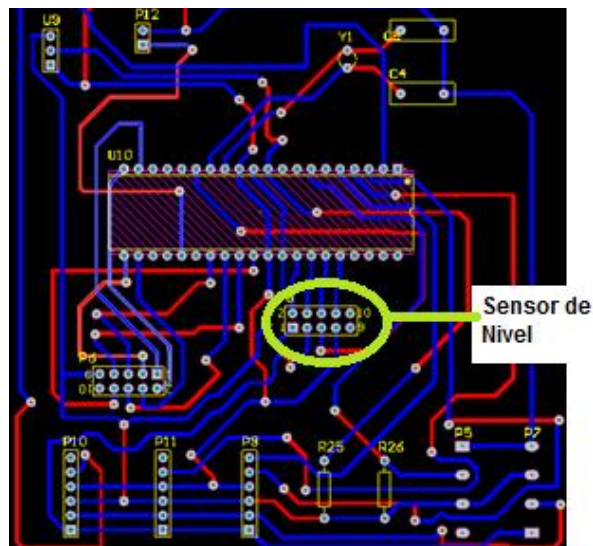
d. ESQUEMÁTICO EN ALTIUM®

Figura 164: Diagrama del conector del sensor en Altium Designer®



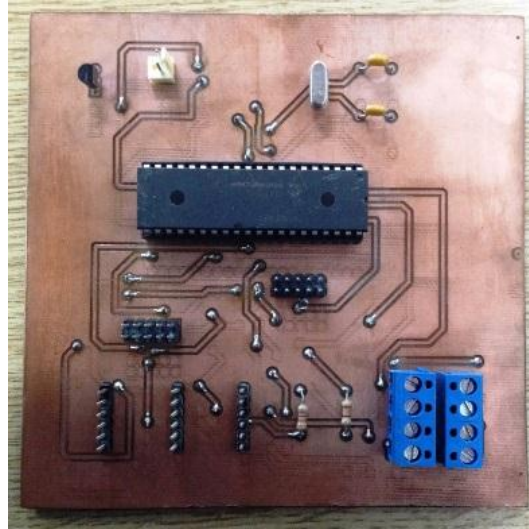
e. DISEÑO DE PCB EN ALTIUM®

Figura 165: Ubicación del conector del sensor en el PCB de control



f. CONTROLADOR DE SENSORES IMPLEMENTADO

Figura 166: PCB del controlador de sensores



3. SISTEMA DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE CORRIENTE. Las pruebas para el consumo y medición de corriente se realizaron midiendo la corriente demandada por un motor DC de idénticas prestaciones al utilizado en el vehículo híbrido. Este conectado a una batería de 12 V extraída de un regulador UPS, ésta alimentó el motor con un amperaje dentro del rango permitido por el sensor ACS712 que se encuentra entre 0A a 5A.

La medición fue comparada con la proporcionada por un multímetro digital conectado en serie al sensor y al cable de alimentación del motor. La salida del acondicionador de voltaje está en el rango de 0 a +5V, por lo que este valor representa al mismo escalar que indica la corriente consumida.

Debido a las limitaciones con las fuentes de voltaje a disposición (máximo 2A), no fue posible probar el sistema con corrientes más altas, aunque si era posible detectar los picos de amperaje al momento de conectar el motor. La información recabada se presenta a continuación:

a. CONEXIÓN DEL SENSOR ACS712

Figura 167: Diagrama de conexión del sensor ACS712 [86]

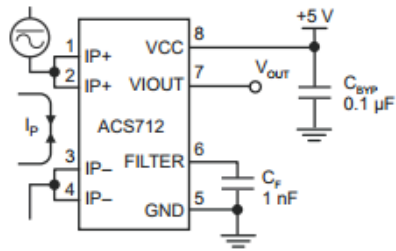
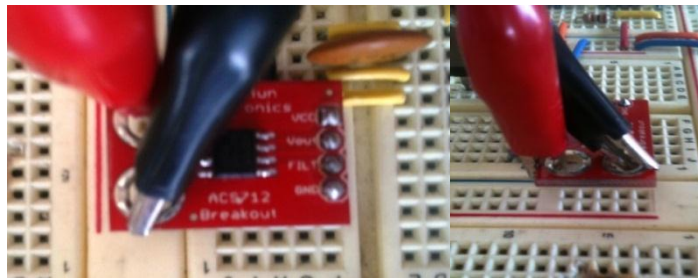


Figura 168: Conexión del sensor de corriente durante las pruebas



b. SISTEMA DE PRUEBA CON MOTOR

Figura 169: Batería y motor DC usados para las pruebas

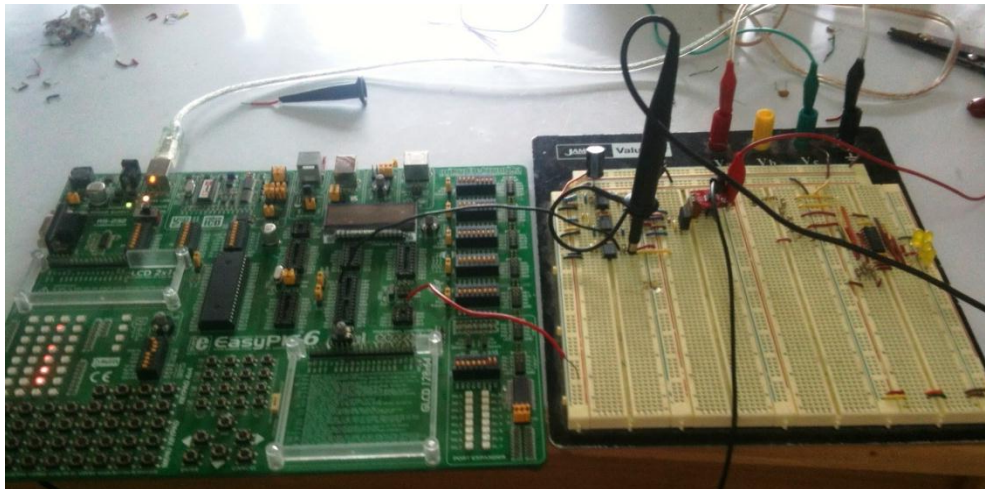


Figura 170: Sistema empleado para probar el sensor de corriente



c. MEDICIONES REALIZADAS. Para la medición de corriente en las pruebas, se conectó un multímetro digital en serie entre la batería y la alimentación del motor para medir la corriente consumida. El osciloscopio presenta la salida del circuito sensor de corriente empleado, con una relación de 1.0V:1.0A.

En la Figura 171 se presenta la lectura del módulo ADC del controlador de sensores, con una salida de 8 bits, con RC7 como bit más significativo:

Figura 171: Medición de la corriente consumida

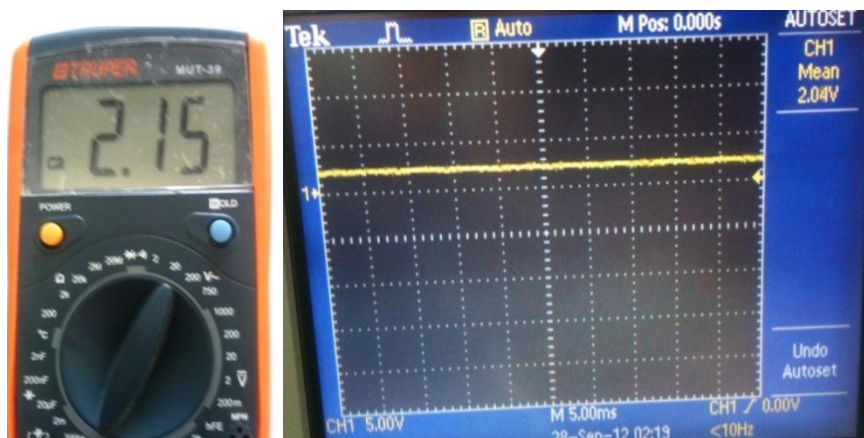
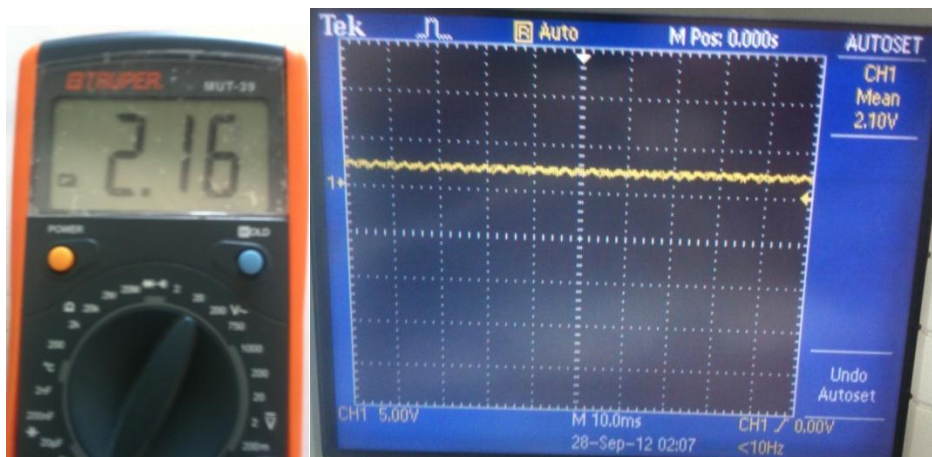


Figura 172: Lectura de la corriente recibida por el controlador de sensores



Figura 173: Comparación de consumo entre el sensor ACS712 y un multímetro



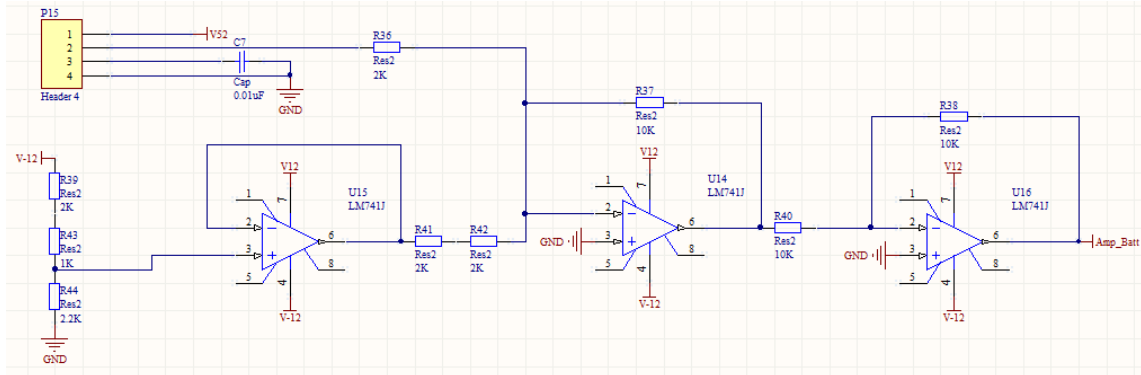
d. DATOS REGISTRADOS

Tabla 29: Mediciones y márgenes de error medidos para el sensor ACS712

Sensor de corriente			
Fuente	Valor		
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Sensor ACS712	2.04A	2.10A	-
Multímetro Digital	2.15A	2.16A	2.19A
Valor Binario	-		01110110/2.31A
Error	5.12%	2.78%	5.48%

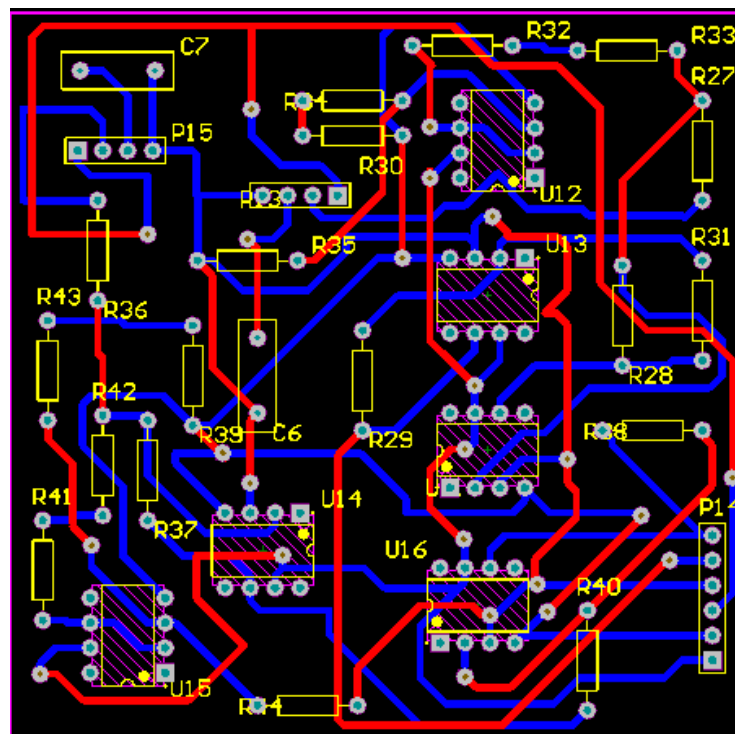
e. ESQUEMÁTICO EN ALTIUM®

Figura 174: Diseño de PCB para los sensores de corriente de batería y panel



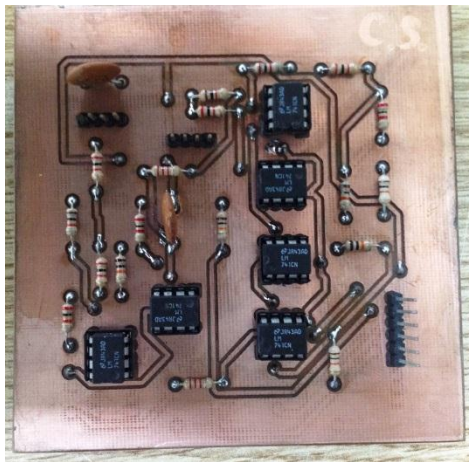
f. DISEÑO DE PCB EN ALTIUM®

Figura 175: Diagrama de conexión del sensor de corriente en Altium Designer®



g. DISEÑO DE PCB EN ALTIUM®

Figura 176: PCB de sensores de corriente



4. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO. Para las pruebas de este sistema, se diseñó el circuito para responder a frecuencias entre 0 y 40 Hz, calibrando un generador de funciones se probó dicho rango introduciendo al sistema una señal cuadrada similar a la que sería vista por el sensor Hall A3144.

Después, haciendo uso de un motor DC idéntico al implementado en la transmisión del vehículo, se procedió a adherirle dos pedazos de imán común al eje de dicho motor e improvisado la posición del sensor Hall, se logró probar el sistema completo, de forma muy semejante a su disposición final dentro del vehículo.

Las mediciones tomadas se contrastaron con las arrojadas por un tacómetro mecánico, utilizado para calibrar el eje del motor y comparar con la lectura del sensor, y el módulo ADC, salida del sistema de medición. Las mediciones y pruebas fueron de la siguiente forma:

a. **CON UN GENERADOR DE FUNCIONES.** Se presentan el valor de frecuencia que debería ingresar al circuito por medio del sensor Hall y la respuesta de voltaje de este medido a través de un osciloscopio digital.

Figura 177: Simulación del rango de velocidad máximo a alcanzar por el vehículo



Figura 178: Simulación de velocidad media para el sensor



Figura 179: Simulación de velocidad baja para el sensor



b. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA CON MOTOR

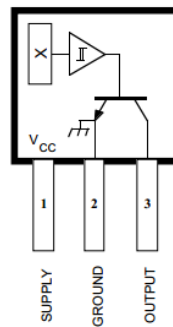
Figura 180: Sistema empleado para pruebas de velocidad



c. UBICACIÓN Y CONEXIÓN DEL SENSOR A3144

1) Diagrama de conexión del sensor

Figura 181: Esquema de conexión del sensor A3144 [4]



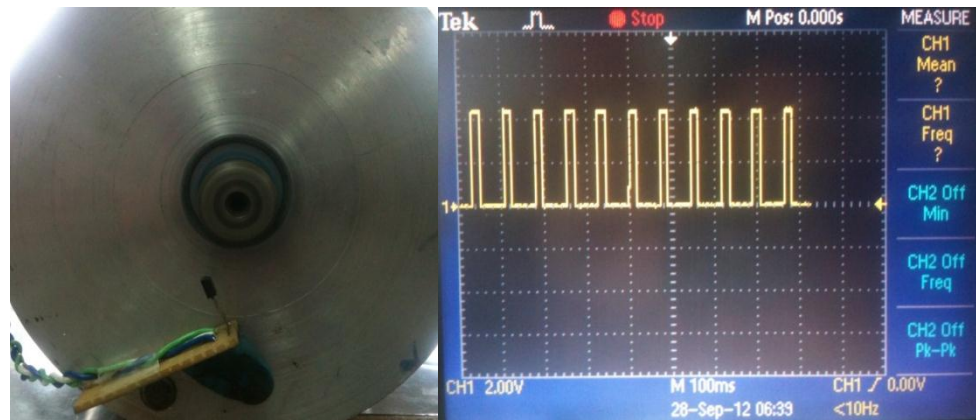
2) Ubicación de del sensor

Figura 182: Posicionamiento del sensor A3144



3) Lectura del sensor al encender el Motor

Figura 183: Respuesta del sensor A3144

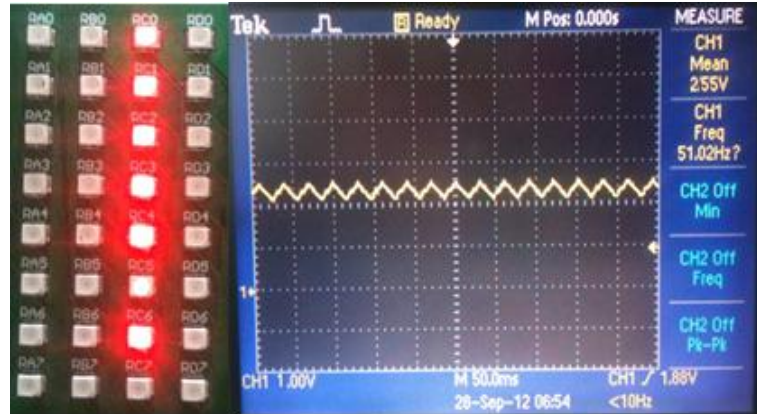


d. LECTURAS REGISTRADAS DEL SISTEMA. La medición se realizó con la salida de respuesta del sensor de velocidad conectada al controlador de sensores, traduciendo la señal a un vector 8 bits, con RC7 como más significativo, según se aprecia en las Figuras 184 y 185.

Figura 184: Lectura de la velocidad alimentando el motor DC con 12V



Figura 185: Lectura de la velocidad alimentando el motor DC con 24V

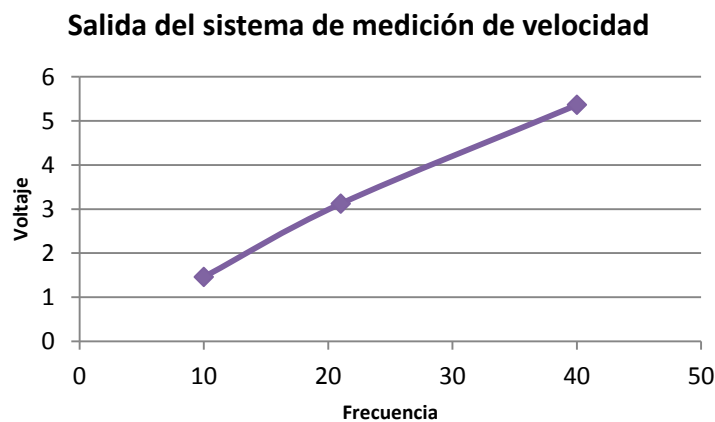


e. **DATOS REGISTRADOS DEL SISTEMA.** Variando algunos puntos del rango de operación del sistema, por medio del generador de funciones, puede graficarse el comportamiento de la respuesta del sensor de velocidad a distintas frecuencias

Tabla 30: Mediciones del sensor de velocidad simulando el rango del sensor

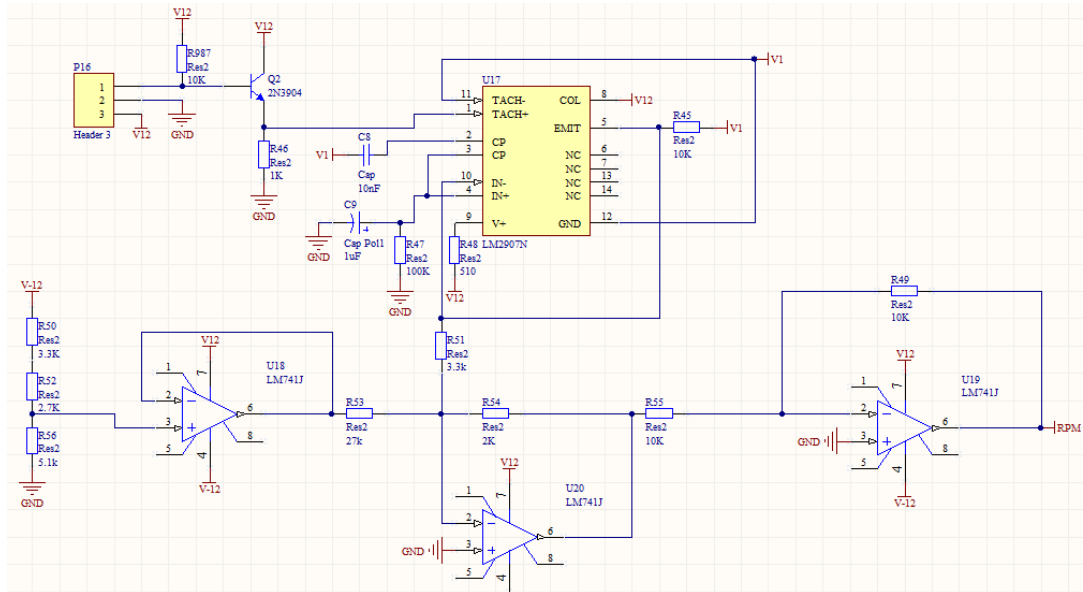
Generador de Funciones	Frecuencia Hz	Voltaje
	40	5.36
	21	3.12
	10	1.46

Figura 186: Relación de salida del sensor de velocidad



f. ESQUEMÁTICO EN ALTIUM®

Figura 187: Diagrama del circuito para el sensor de velocidad



g. DISEÑO DE PCB EN ALTIUM®

Figura 188: Diseño de PCB para el sistema de medición de velocidad

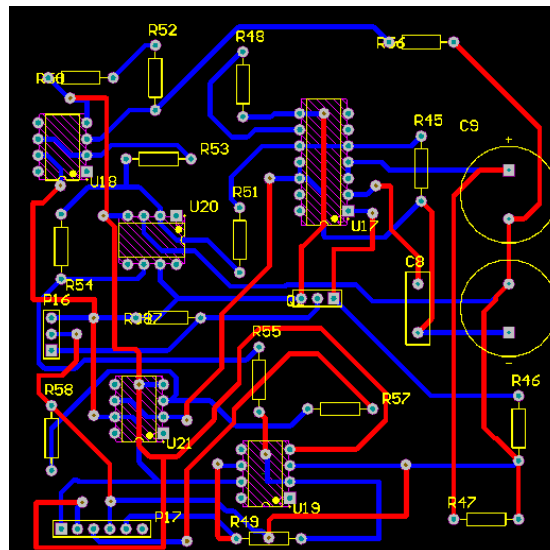
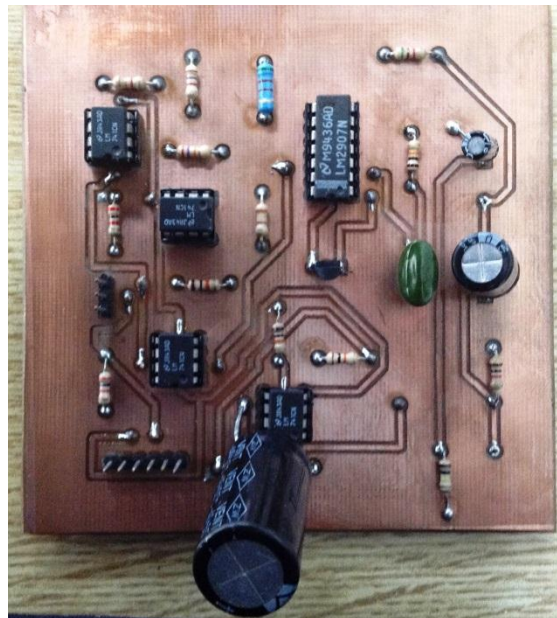


Tabla 31: Mediciones de velocidad tomadas con el sensor Hall

Sensor	Voltaje	Valor Digital		Error
		Binario	Equivalente Voltaje	
A3144	1.47	01001110	1.52	3.40%
	2.55	01111111	2.49	2.35%

h. SENSOR DE VELOCIDAD IMPLEMENTADO

Figura 189: PCB de sensor de velocidad



5. SISTEMA DE MEDICIÓN DE CARGA DE LA BATERÍA CENTRAL. Para los ensayos de este medidor se simuló el rango de voltaje de la batería, haciendo uso de una fuente de alimentación del laboratorio. El rango utilizado se basa en mediciones de carga y descarga tomadas de las baterías a utilizar en el vehículo.

Las salidas del sistema se colocan directamente en los puertos RB0 al RB3 del controlador de sensores, creando así la escala de cuatro posiciones para establecer el nivel de carga de las baterías.

a. **MEDICIONES REALIZADAS.** Medición del sensor a distintos rangos de voltaje y un gráfico explicativo de la carga de la batería en los distintos niveles.

1) Nivel 1 “Descargado”

Figura 190: Representación de nivel de batería bajo



2) Nivel 2 “Poca carga”

Figura 191: Representación de nivel de batería medio-bajo



3) Nivel 3 “Media Carga”

Figura 192: Representación de nivel de batería medio-alto



4) Nivel 4 “Carga completa”

Figura 193: Representación de nivel de batería alto



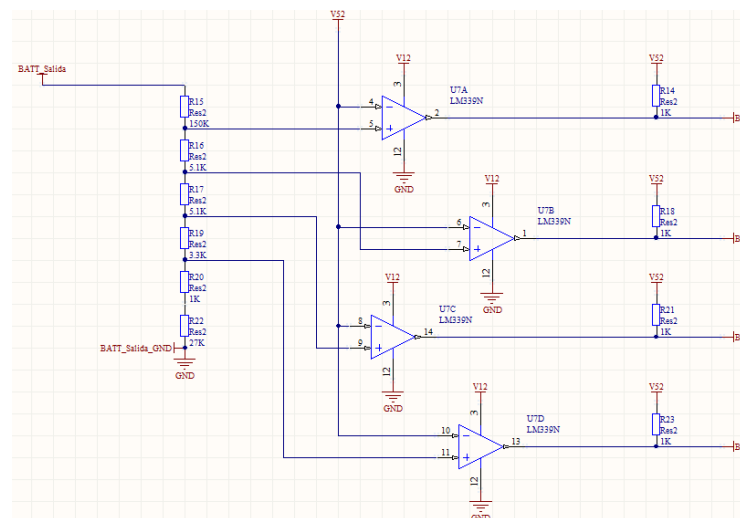
b. RANGO ESTABLECIDO PARA LAS BATERÍAS DISPONIBLES

Tabla 32: Niveles de carga de batería

Rango de Carga de Baterías	
Nivel	Rango
1	<+27V
2	+27V a +29V
3	+29V a +33V
4	>+33V

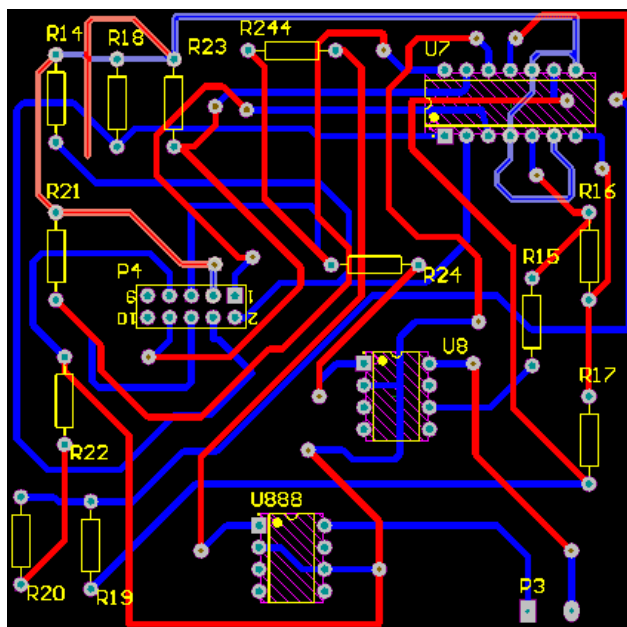
c. ESQUEMÁTICO EN ALTIUM®

Figura 194: Diagrama de conexiones del circuito de medición de carga



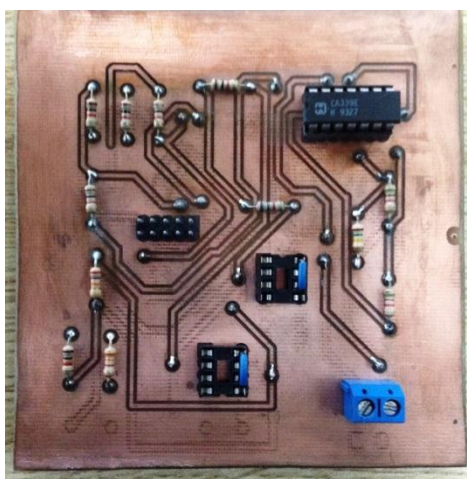
d. DISEÑO DE PCB EN ALTIUM®

Figura 195: Diseño en PCB del sistema de medición de batería



e. SENSOR MEDIDOR DE CARGA IMPLEMENTADO

Figura 196: PCB del sensor de carga



6. SISTEMA DE MEDICIÓN DEL NIVEL LUMÍNICO. Las mediciones y pruebas para este sensor fueron realizadas en el laboratorio durante la mañana, para aprovechar la mayor cantidad de luz disponible, para calibrar la recepción lumínica máxima se utilizó el LED “flash” de un teléfono móvil.

La salida del sensor se conecta directamente a un circuito de frecuencia voltaje idéntico al de medición de velocidad, que a su vez se conecta a un pin analógico del controlador de sensores. Una vez determinada la máxima iluminación posible, se calibró este como el máximo de la escala.

a. CONEXIÓN DEL SENSOR TSL235R

Figura 197: Esquema de conexión del sensor TSL235R

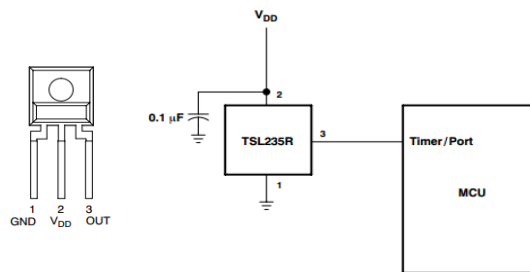
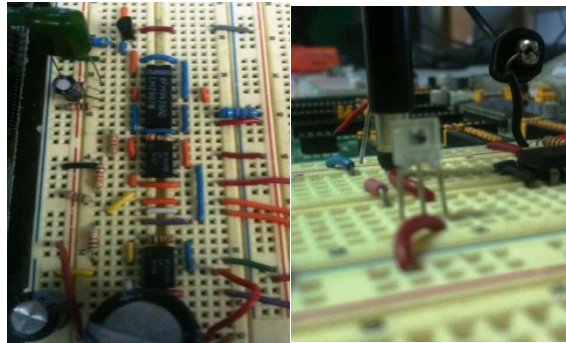


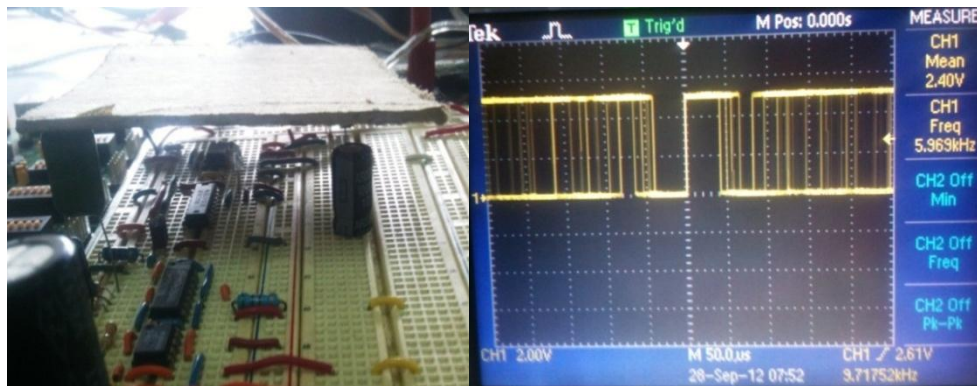
Figura 198: Implementación en Protoboard del sensor TSL235R



b. RANGOS DE MEDICIÓN DEL SENSOR

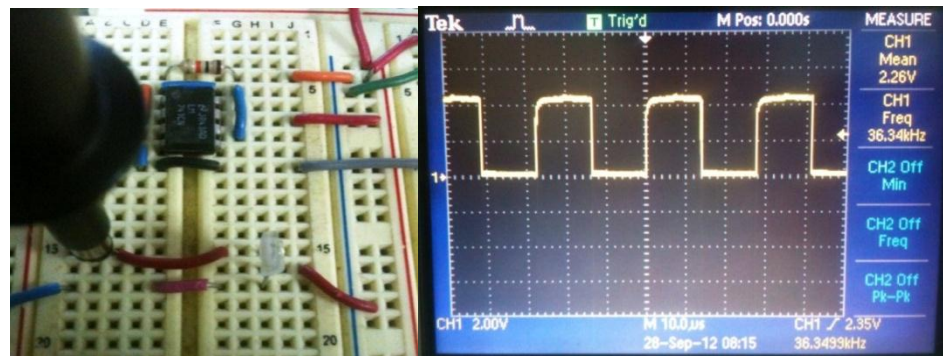
1) Rango bajo

Figura 199: Simulación nivel de intensidad lumínico bajo



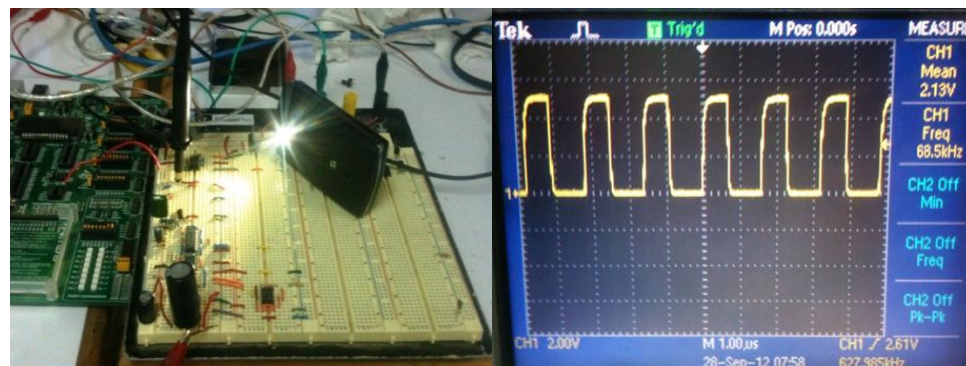
2) Rango medio

Figura 200: Simulación nivel de intensidad lumínico medio



3) Rango Alto

Figura 201: Simulación nivel de intensidad lumínico alto



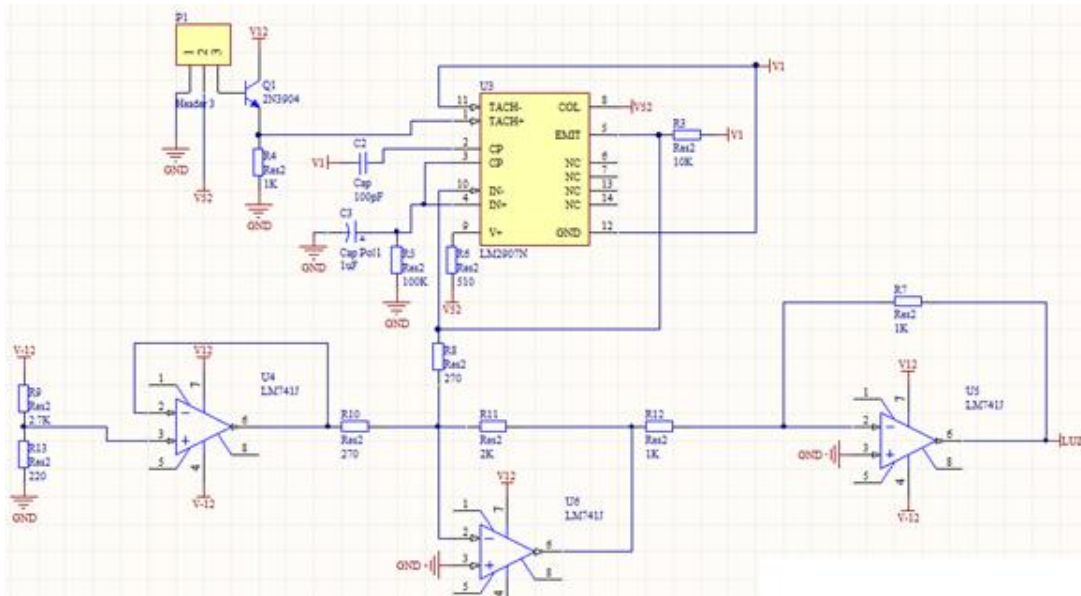
c. RANGOS PARA NIVEL LUMÍNICO

Tabla 33: Medición de los rangos para nivel lumínico

Rango nivel lumínico	
Nivel	Rango
1	<15 KHz
2	20KHz a 40KHz
3	>40KHz

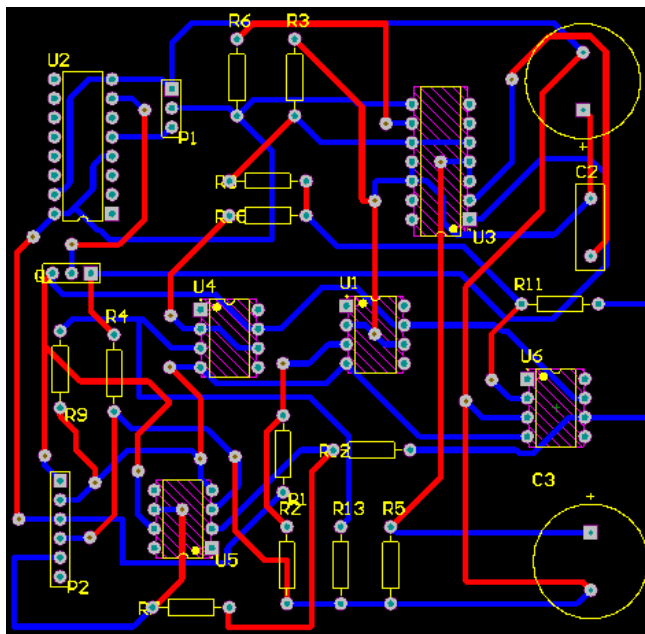
d. ESQUEMÁTICO EN ALTIUM®

Figura 202: Diagrama de conexiones para el sistema de medición de lumínico



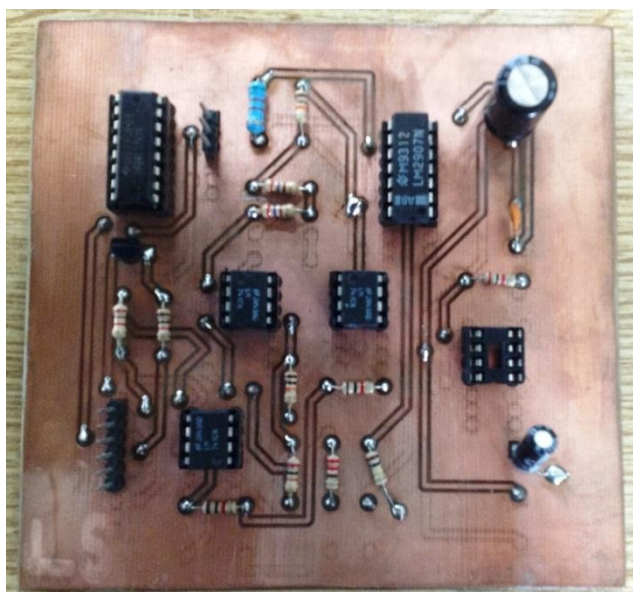
e. DISEÑO DE PCB EN ALTIUM®

Figura 203: Diseño en PCB del sensor para intensidad luminosa



f. SENSOR DE NIVEL LUMÍNICO IMPLEMENTADO

Figura 204: PCB del sensor de luz



E. DISCUSIÓN

1. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA AMBIENTE Y DEL MOTOR. Los resultados obtenidos durante las pruebas del sensor DS18B20 excedieron en gran medida las expectativas. La precisión que este arroja tanto en su empaquetado tradicional como en el de termocupla es bastante bueno, cuando la medición la temperatura se da recibe de una forma bastante buena y exacta, y con base en observaciones como esta se decidió en un principio el agregar el sensor adicional para la temperatura del ambiente.

Se observaron mediciones con un error cercano al 0%, comparando dichos datos con varias fuentes de medición, algo que garantiza positivamente la respuesta del sensor avalando la veracidad de su lectura.

Un aspecto que podría requerir atención es que se observó que la transferencia de calor recibida por el sensor en la termocupla era relativamente lento después de un rango. Verificando en la hoja de datos del fabricante se comprobó que la precisión del sensor disminuye relativamente a partir de los +85° C. De manera general esto no es un problema, ya que para la temperatura del motor una precisión de 0.5°C o menos es innecesaria, por lo que la medición es aceptable dentro del rango establecido.

Esto último podría acontecer claro está, si el motor de combustión registra alguna falla no prevista, de carácter singular, dado que durante mediciones previas durante pruebas en taller, no fue posible medir una temperatura mayor a 100°C lo que muestra la poca probabilidad de que esto suceda.

Por cualquier otro aspecto, la decisión de implementar dicho sensor DS18B20, en detrimento de la opción de la termocupla tipo K inicialmente propuesta fue un acierto. La precisión, fácil comunicación, recepción de datos y adecuado rango de lectura, avalan la decisión tomada al iniciar el diseño de este sistema de medición.

2. SISTEMA DE MEDICIÓN DEL NIVEL DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE.

El sensor de nivel para el tanque de combustible terminó convirtiéndose en una “caja de Pandora”, por todos los retos que planteó su óptima puesta en funcionamiento. Desde problemas de fuga o de flote, finalmente se logró, por medio de pequeñas modificaciones, obtener una respuesta rápida y eficiente del nivel de líquido presente en el tanque.

Después de enumerar las opciones disponibles para medir el nivel, un flote pareció siempre la más adecuada, dado que mantiene una respuesta de lectura relativamente constante sin importar el movimiento, y previene cualquier falla que podría ser peligrosa al operar en gasolina.

En aspectos generales, el sensor de nivel diseñado es bastante funcional, presentando una respuesta muy similar a un sensor de nivel de vehículos comerciales.

Sin embargo, hay que mencionar la pobre precisión que este ofrece, por las mismas limitaciones del flote, no es posible determinar qué nivel de precisión arroja, dado que el volumen de líquido para el tanque lleno o vacío tampoco puede ser constante, el ofrecer un valor de presión en la escala por litros o inferior, está completamente fuera de posibilidades.

Por lo que si en posteriores investigaciones sobre el sistema híbrido y su eficiencia, habría que tomar en cuenta opciones adicionales para poder hacer un análisis energético exhaustivo.

Las condiciones de funcionamiento del sensor de nivel de tanque de gasolina cumplen con lo establecido durante el planteamiento del módulo de sensores, por lo que su diseño se adecúa a lo requerido inicialmente.

3. SISTEMA DE MEDICIÓN DEL CONSUMO DE CORRIENTE. Resulta evidente que, junto al sistema de medición de temperatura, este sistema para la corriente presentaron los mejores resultados del módulo de sensores.

La notable precisión que el sensor ACS712 alcanzó al compararlo con las lecturas de multímetros digitales, el fácil manejo y procesamiento de sus datos, garantiza una forma fácil de medir el consumo de corriente en las líneas donde este se ubica, enfatizando la simplicidad que llevara el análisis de eficiencia del panel solar a partir de la forma en que se presenta esta información.

Indudablemente las virtudes del sensor Hall se hacen notar. Ya que no solo la sensibilidad de respuesta es favorable, sino que también su medición no intrusiva, evita el paso del ruido del motor al sistema electrónico, aspecto apreciable en las imágenes tomadas durante las pruebas, solventando un asunto que generaba preocupación al inicio.

El rango de evaluación por parte del sensor es ligeramente alto para la aplicación empleada, especialmente para el panel solar, que idealmente podría llegar a producir una corriente de poco más de 1 A, sin embargo esto fue pensado para asegurar que no se fueran a producir grandes picos de consumo que podrían dañar el sensor, además es posible contemplar mejoras a futuro sin necesidad de rediseñar este sistema de medición.

El ampliar las características y dispositivos conectados al vehículo, como un tablero más sofisticado, con una Tablet o algo similar, como se llegó a contemplar en algún momento, el emplear un panel solar con mejor tecnología y eficiencia, etc. Estas entre otras cosas, serían modificaciones a futuro permisibles, sin necesidad de cambiar el sistema de medición de consumo de corriente.

4. SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO. Resulta complicado expresar argumentos definitivos acerca de este sensor en particular, ya que a diferencia del resto, es el único que ha sido diseñado y probado en un medio alternativo y bajo condiciones diferentes a las que finalmente se verá destinado.

Esto se refiere a que debido a retrasos en el diseño y la construcción del chasis, la implementación de los frenos, la ubicación de los motores y el alternador, la puesta a punto del motor de combustión, entre otras cosas; no permitió el realizar pruebas preliminares o de laboratorio para el sistema de medición de velocidad aplicado directamente sobre el eje del motor midiendo su desempeño de forma estática o en movimiento.

Es debido a estas circunstancias que fue necesario estimar el rango de frecuencia de operación del motor, con base en la transmisión colocada y más certeramente probar la respuesta del sensor actuando sobre un motor DC de idénticas características al que estará definitivamente acoplado.

El valor teórico que arrojan las pruebas realizadas es la eficiencia del sistema diseñado para la medición de la velocidad, capaz de registrar activamente las rotaciones del eje del motor y transformarlas en una relación de voltaje lineal y reconocible por el controlador de sensores, Esto con el fin de que con base en dichas mediciones pueda obtenerse, por software y aritmética, un valor de revoluciones por minuto del motor bastante similar al medido por un tacómetro mecánico de precisión.

Los márgenes de error que se encontraron fueron bastante bajos, y el tiempo de respuesta es siempre en tiempo real y con tiempos de procesamiento cortos, lo que mantendrá siempre actualizado el sistema en base a la velocidad instantánea de este.

En virtud de las pruebas realizadas puedo resolverse un conflicto de ruido en el sistema, dicho imprevisto no fue considerado durante el diseño, pero se logró solucionar satisfactoriamente. Al parecer el circuito integrado LM2907,

encargado de la función de convertir frecuencia a voltaje, tiene ciertos problemas cuando opera a frecuencias muy bajas (<50 Hz), lo que dio origen a lecturas erróneas como la que presenta una señal triangular, propiciando un error de medición en el sistema. Colocando un filtro condensador en la base de la salida del circuito y la referencia, pudo eliminarse casi definitivamente este problema. Esta solución que permitió la obtención de los resultados expuestos, mostrando así la eficacia del diseño realizado.

Hay que tomar en cuenta, una vez instalado este sistema de medición en el eje del motor del vehículo híbrido, será necesario calibrar por software los límites máximos de velocidad del eje del motor, para poder establecer un rango de medición en base al cual se determinará la velocidad lineal del transporte en Km/h.

Es necesario recalcar que la medición final de velocidad lineal instantánea presentada por el computador central es solo una aproximación del valor real de dicha magnitud. Esto debido a que los cálculos estarán basados el diámetro de los neumáticos, y estos pueden variar por muchas circunstancias, como lo puede ser la presión de aire en su interior, el peso sobre el vehículo o el terreno sobre el cual se movilice.

5. SISTEMA DE MEDICIÓN DE CARGA DE LA BATERÍA CENTRAL. La consecución de este sistema de medición requirió investigación y toma de decisiones dado el peculiar estado del sistema a medir (tres baterías, dos de ellas de referencia). Es por esto que se piensa que se logró seleccionar la opción más simple y que puede adecuarse al sistema de forma muy precisa.

El diseño de este sistema de medición se probó en varias oportunidades, en diferentes circunstancias a las que se encuentran documentado, llegando incluso a querer instalar uno para cada una de las tres baterías, arrojando siempre como resultado el mismo, el diseño descrito anteriormente es el más óptimo y eficiente.

De manera similar al sistema de medición de velocidad, este sistema también presenta algunas condiciones especiales al momento de ser instalado de manera definitiva al vehículo. Esto es que éste se encuentra diseñado para operar precisamente bajo el mismo juego de baterías sobre el cual fue probado. Por lo que al reemplazar alguno de los mencionados acumuladores, o colocar en vez de estos una batería de 36V, deberá recalibrarse el circuito, cambiando el valor de cinco resistores divisores de voltaje situados en el circuito comparador y cuyo valor se basa en el rango de voltajes máximo y mínimo del ciclo de carga de la nueva batería.

Es válido cuestionar la dependencia de dicho diseño a un juego de acumuladores específico. Como se ha mencionado antes, los rangos de voltaje para un ciclo de carga, varían para cada batería dependiendo de cuestiones como su marca, tiempo de vida, etc. Por lo que si se deseara un sistema más eficiente en este aspecto es necesario calibrar el sistema para un juego de baterías en idéntico estado y asegurar su futuro remplazo con modelos con las mismas características.

Es precisamente por este aspecto que los medidores de carga en ocasiones presentan lecturas curiosas o extrañas. Un ejemplo muy común puede verse en las baterías de computadoras personales, estas cuando su tiempo de vida es de algunos años, puede descargarse completamente en razón de 5 a 10 minutos. Pero si durante este proceso se observa la lectura del tiempo restante antes de que la carga de la batería expire, tomado por el sistema operativo del ordenador, es visible como este valor estimado es bastante lejos de la realidad. Esto es debido a que el medidor pudo diseñarse para ciertas condiciones de la batería, que está ya no mantiene debido al desgaste.

Una vez discutido la anterior cuestión, hay que mencionar que los resultados obtenidos a través de las pruebas revelan de forma exitosa la distinción y detección de los cuatro niveles de carga propuestos para el juego de baterías, rangos sugeridos en base a la observación de estas, después de estar sujetas intencionalmente a muchos ciclos de carga y descarga. Por lo que puede decirse

que el resultado de la medición de la carga del sistema de medición es más que satisfactorio.

6. SISTEMA DE MEDICIÓN DEL NIVEL LUMÍNICO. Dado que no existió ningún parámetro para comparar el desempeño de este sensor, su forma de medición fue planteada de manera similar a la del sistema de medición de carga. Sólo que en esta ocasión el rango de datos a medir fue dispuesto en base al sensor y su respuesta a distintos niveles luminosos, bajo los cuales se encontrará en operación.

En las pruebas se estableció tres niveles notablemente distintos de intensidad luminosa, pero debido a la forma en que se diseñó el circuito, es posible definir muchos niveles intermedios entre los valores máximos y mínimos de frecuencia entregada por el sensor TSL235R. Esto para ampliar el rango que después deberá ser mostrada al usuario final por medio de un gráfico en el tablero del vehículo, para facilitar la comprensión de dicha variable.

En las imágenes capturadas durante la experimentación con este sensor pueden apreciarse adecuadamente los distintos niveles lumínicos capaces de ser detectados por el sensor, por lo que combinando esta información con la proveniente de los sensores de corriente conectados a panel solar y batería central, puede encontrarse de manera muy simple el aporte energético que brinda la energía solar al sistema.

Además de conocer bajo qué circunstancias se encuentra operando el panel solar, es decir cuánto es el nivel luminoso que este recibe durante su funcionamiento, lo que satisface a cabalidad la necesidad planteada en base a la cual se diseñó este sistema de medición.

XI. DESARROLLO DEL MÓDULO DE COMPUTADORA CENTRAL

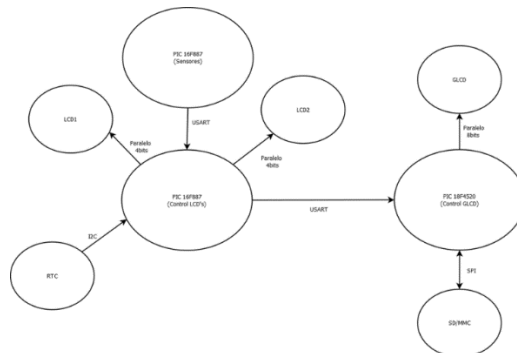
A. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL MÓDULO

1. Diseñar un sistema automático que optimice el uso de los diversos tipos de energía.
2. Diseñar un sistema de visualización agradable al usuario y entendible para que se pueda leer con facilidad todas las variables.
3. Aplicar el uso y programación de microcontroladores para el manejo de una tarea específica.
4. Implementar una función que permita conocer el consumo de las diferentes variables en el vehículo para un recorrido, de manera que se puedan hacer cálculos de eficiencia energética con el mismo.

B. DISEÑO

1. **ESTRUCTURA COMPUTADORA CENTRAL.** En la Figura 205, se muestra un diagrama, de la conexión de los diferentes sub módulos de la computadora central, y la forma en la que se comunican entre ellos.

Figura 205: Estructura computadora central



2. MANEJO PANTALLAS LCD. Se utilizan dos pantallas LCD de 2x16, con un controlador Hitachi HD44780, el mismo tiene dos formas de operación. Una es la modalidad de 4 bits, y la modalidad de 8 bits.

Aunque la modalidad de 4 bits es un poco más difícil de usar, se maneja con librerías de MikroC (compilador de Mikroelektronika), lo que permite un manejo bastante sencillo con procedimientos fáciles de usar.

a. PROCEDIMIENTOS DE MIKROC UTILIZADOS PARA EL DESPLIEGUE EN LA LCD.

Lcd_Init ()

No requiere ningún parámetro para inicializar, pero hay que inicializar las conexiones, hacia los puertos donde se van a conectar las de la LCD.

Ejemplo:

```

sbit LCD_RS at RB4_bit;

sbit LCD_EN at RB5_bit;

sbit LCD_D7 at RB3_bit;

sbit LCD_D6 at RB2_bit;

sbit LCD_D5 at RB1_bit;

sbit LCD_D4 at RB0_bit;

sbit LCD_RS_Direction at TRISB4_bit;

sbit LCD_EN_Direction at TRISB5_bit;

sbit LCD_D7_Direction at TRISB3_bit;

sbit LCD_D6_Direction at TRISB2_bit;

sbit LCD_D5_Direction at TRISB1_bit;

sbit LCD_D4_Direction at TRISB0_bit;

```

Lcd_Out (**char** fila, **char** columna, **char** *texto)

Tiene como sus tres parámetros de entrada, la fila a la que se va a desplegar, la columna y el texto.

Lcd_Chr (**char** fila, **char** columna, **char** caracter)

Tiene como sus tres parámetros de entrada, la fila a la que se va a desplegar, la columna y el carácter a desplegar.

Lcd_Cmd (**char** comando)

Comandos disponibles con el procedimiento Lcd_Cmd(), presentados en la Tabla 34.

Tabla 34: Comandos disponibles para LCD.

Comando	Propósito
_LCD_FIRST_ROW	Mueve el cursor a la primera fila
_LCD_SECOND_ROW	Mueve el cursor a la segunda fila
_LCD_THIRD_ROW	Mueve el cursor a la tercera fila
_LCD_FOURTH_ROW	Mueve el cursor a la cuarta fila
_LCD_CLEAR	Limpia la pantalla
_LCD_RETURN_HOME	Regresa el cursor a la posición inicial
_LCD_CURSOR_OFF	Apaga el cursor
_LCD_UNDERLINE_ON	Cursor de subrayado activado
_LCD_BLINK_CURSOR_ON	Activa el cursor intermitente
_LCD_MOVE_CURSOR_LEFT	Mueve el cursor a la izquierda
_LCD_MOVE_CURSOR_RIGHT	Mueve el cursor a la derecha
_LCD_TURN_ON	Enciende la LCD
_LCD_TURN_OFF	Apaga la LCD
_LCD_SHIFT_LEFT	Corre el contenido en pantalla a la izquierda
_LCD_SHIFT_RIGHT	Corre el contenido en pantalla a la derecha

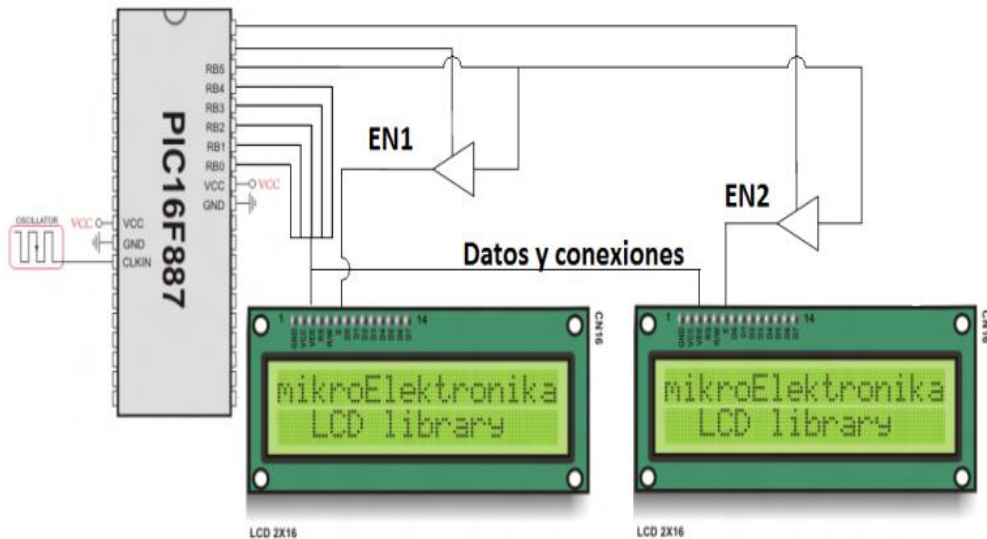
Al inicializar la LCD, y con las conexiones establecidas como se describió en el ejemplo, para desplegar el texto que se necesite es tan sencillo como utilizar el procedimiento `LCD_Out(2,3,"Hola mundo");` por ejemplo.

b. CONEXIÓN DE MÁS DE UNA PANTALLA LCD A UN SOLO BUS DE DATOS. En la aplicación se utilizaron dos pantallas LCD, y la librería está hecha para manejar una sola pantalla con las conexiones dadas. Entonces para solucionar ese problema se utilizó la línea de Enable (habilitación) presente en la pantalla LCD.

Cada una de las señales de enable de las pantallas esta manejada por un buffer tri-estado, que el microcontrolador se encarga de habilitar o deshabilitar según sea el caso necesario, para escribir a cada una de las pantallas.

c. ESQUEMÁTICO DE CONEXIÓN DE AMBAS PANTALLAS .Las pantallas se conectaron con el microcontrolador como muestra la Figura 206:

Figura 206: Conexión pantallas LCD 2X16 [64]



3. USO DEL RTC. El RTC, Reloj de tiempo real por sus siglas en ingles comunica con el microcontrolador utilizando el bus I2C. Para establecer la comunicación I2C entre el PIC y el RTC, se utilizan las librerías de Mikroc para simplificar el uso de este protocolo de comunicación.

a. PROCEDIMIENTOS DE MIKROC UTILIZADOS PARA COMUNICACIÓN I2C. I2C1_Init (const unsigned long reloj);

Este procedimiento se utiliza para inicializar el módulo MSSP en modo I2C, y tiene como parámetro la frecuencia de reloj a utilizar por el bus.

I2C1_Start (void);

Este procedimiento revisa que el bus este libre, y genera una señal de start (inicio), y devuelve un 0 si no hay ningún error.

I2C1_Repeated_Start (void);

Este procedimiento genera una señal de Start (inicio) en el bus repetidas veces.

I2C1_Rd (unsigned short ack);

Este procedimiento lee un byte del esclavo seleccionado y en función del valor del parámetro ack, manda o no una señal de acknowledge (verificación).

I2C1_Wr (unsigned short data_);

Escribe un byte (data_) en el bus I2C.

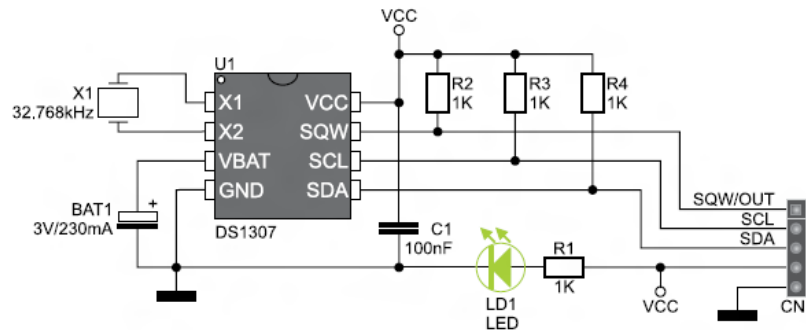
I2C1_Stop (void)

Manda una señal de stop en el bus I2C.

b. ESTRUCTURA DEL CIRCUITO RTC. El RTC, funciona por medio del circuito integrado DS1307 el cual cuenta con una memoria RAM, que se accede por medio de lecturas en el bus I2C, y tiene la hora y fecha codificada en BCD.

El RTC, es un circuito independiente al PIC. Y está conectado Como se muestra en la Figura 207 a continuación:

Figura 207: Esquemático conexión DS1307. [62]



La memoria RAM del DS1307, está distribuida de la siguiente manera:

Figura 208: Estructura memoria RAM DS1307 [94]

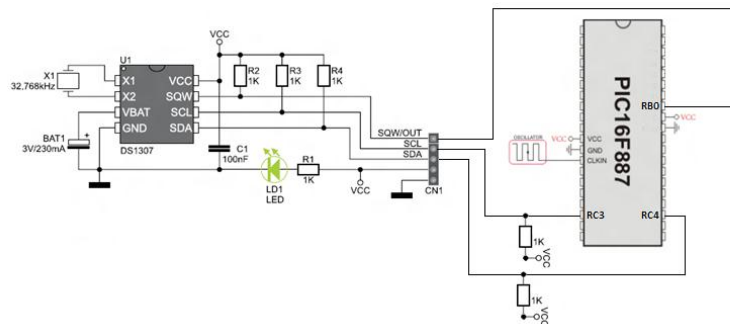
BIT7								BIT0	
00H	CH	10 SECONDS			SECONDS			00-59	
	0	10 MINUTES			MINUTES			00-59	
	0	12 / 24	10 HR / A/P	10 HR	HOURS			01-12 / 00-23	
	0	0	0	0	DAY			1-7	
	0	0	10 DATE		DATE			01-28/29 / 01-30 / 01-31	
	0	0	10 MONTH	MONTH			01-12		
	10 YEAR			YEAR			00-99		
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	

c. MANEJO DEL RTC CON EL PIC16F887. Al ejecutar una señal de START en el bus I2C, y colocar la dirección del DS1307, se accede al registro 00H de la memoria, por lo que en los 8 bits que devuelve se encuentran los segundos, codificado de manera BCD. En los primeros cuatro bits se encuentran las unidades del valor de segundos y en los 4 bits significativos se encuentran las decenas del mismo. Por ejemplo si el valor de segundos fuera de 52 segundos, el valor del registro 00H sería: 01010010.

Al ejecutar otra señal de *Start* en el bus, el puntero de acceso a memoria RAM y devuelve el siguiente valor que es el de minutos y se encuentra codificado de la misma manera. Y de esa manera utilizando el método de `I2Cx_Repeated_Start()`, y utilizando el método `I2Cx_Rd()` se puede a toda la memoria del RTC.

d. CONEXIÓN CON EL MICROCONTROLADOR

Figura 209: Conexión DS1307 con PIC16F887



Las líneas de SCL, y SDA, de comunicación I2C, se conectan al Puerto C, del microcontrolador ya que ahí es donde se encuentran las salidas del módulo MSSP.

Cuando el valor del bit SSPEN, se selecciona para utilizar el módulo MSSP en modalidad I2C, las salidas del PIC (RC3, RC4) a ser una salida de drenaje abierto, (open drain source) por lo que se tiene que poner una resistencia con un pull-up a voltaje para que el módulo funcione de manera correcta.

Cuando la comunicación queda bien establecida entre los dos dispositivos, se tienen que modificar los valores que se leen en formato BCD, para poder desplegar los valores en la LCD.

e. LECTURA Y DESPLIEGUE DE LOS VALORES DE HORA Y FECHA.

Cada uno de los valores de la hora se guarda en variables diferentes del programa, que tienen que modificarse para poder ser desplegadas. Una vez se ejecuta el método de leer, el valor viene en formato BCD y viene dividido en los cuatro bits superiores y los cuatro bits inferiores. Por lo que primero hay que hacer una máscara que permita quitar los 4 bits más significativos y convertirlo a decimal, y con los 4 bits menos significativos, se convierten a decimal y se suman. Un ejemplo de como se realiza esta conversión con la variable de segundos luego de que se obtiene el valor del DS1307:

```
minutos = Bcd2Dec((minutos& mascara2)>>4)*10 +
Bcd2Dec(minutos& mascara);
```

Se utiliza el método de Mikroc Bcd2Dec(char numero) que se encarga de hacer la conversión, se hace una operación Y booleana con la máscara 0X0F, y 0XF0, para obtener los cuatro bits más significativos y los menos significativos.

Ya con los valores en decimal se utiliza el método de Lcd_Chr (char fila, char columna, char carácter) porque se tiene que hacer una conversión del valor de la variable para obtener cada uno de los códigos ASCII correspondientes a las decenas y las unidades. Esto se hace dividiendo el valor dentro de diez para obtener las decenas y sumándole 0x30h para así obtener el ASCII.

Un ejemplo para el despliegue de los minutos:

```
Lcd_Chr(2,15,minutos/10+48);
Lcd_Chr(2,16,minutos%10+48);
```

De esa manera se despliegan todas las variables leídas del RTC, enviándolas por medio del I2C a la LCD encargada del despliegue de la hora y fecha. El despliegue del día de la semana se hace por medio de una conversión

a texto del valor obtenido, ya que el RTC devuelve 0 para domingo, 1 para lunes y así sucesivamente.

La variable de los segundos sirve únicamente para comparar para cuando es par para hacer que los dos puntos del reloj se enciendan y se apaguen cada segundo.

El integrado del RTC cuenta con la opción de que uno de sus pines sirve como salida y proporciona una señal cuadrada con una frecuencia que puede configurarse el registro 07H de la memoria RAM. Este fue configurado para que funcionara a 1 Hz, y el mismo se encuentra conectado en el puerto B en el pin 0, ya que este sirve como fuente de interrupción externa. Con la señal funcionando a 1Hz el PIC se interrumpe cada segundo para que se vaya a leer el valor del RTC y actualizar el contenido de las pantallas y permite tener una variable con el valor de los segundos totales que ha recorrido el vehículo desde la última vez que se encendió.

f. CONFIGURACIÓN DE HORA Y ESCRITURA EN RTC. Debido a que tiene que existir una forma de configurar la hora y la fecha, en caso de que se tenga que cambiar la batería que alimenta el circuito RTC o que por algún motivo se llegara a tener una hora incorrecta, se implementó un sistema simple con dos botones para modificar la hora y la fecha.

Los botones se encuentran conectados a dos puertos del microcontrolador. Al presionar un botón durante 500ms se llama al procedimiento que cambia la hora y la fecha. Cuando se está en el modo de configuración, la variable que se va a cambiar comienza a desplegarse de forma intermitente en la LCD, y al presionar el mismo botón que llevo a la forma de configuración se cambia la variable a cambiar. Por ejemplo, al presionar la primera vez el botón durante 500 ms los minutos comienzan a desplegarse de manera intermitente y se aumentan mediante presionar el otro botón. Cuando los minutos están configurados, se presiona el botón que se presionó al inicio y las horas empiezan a verse

intermitentes, y de la misma manera el otro botón los aumenta hasta conseguir la hora que se quiere. Luego de configurar todas las variables el final del procedimiento lo que hace es ir a escribir esos registros al RTC para que él se encargue de llevar la hora y la fecha que se configuraron.

4. MANEJO DEL ODÓMETRO. La otra pantalla LCD se utiliza para desplegar el valor del odómetro que contiene la cantidad de metros recorridos por el vehículo, además de tener la opción para seleccionar otros viajes para hacer un análisis energético en función de las variables recibidas del módulo de sensores.

a. CÁLCULO DEL VALOR DEL ODÓMETRO Y ALMACENAMIENTO EN EEPROM. El valor del odómetro se calcula utilizando la variable de velocidad recibida, en la misma interrupción donde se activa la bandera para la lectura del RTC, que ocurre cada segundo, se obtiene el valor de velocidad promedio del vehículo, se suman los valores de velocidad, el último valor recibido con el valor actual y se divide dentro de dos. De esta manera se obtiene el valor de velocidad promedio.

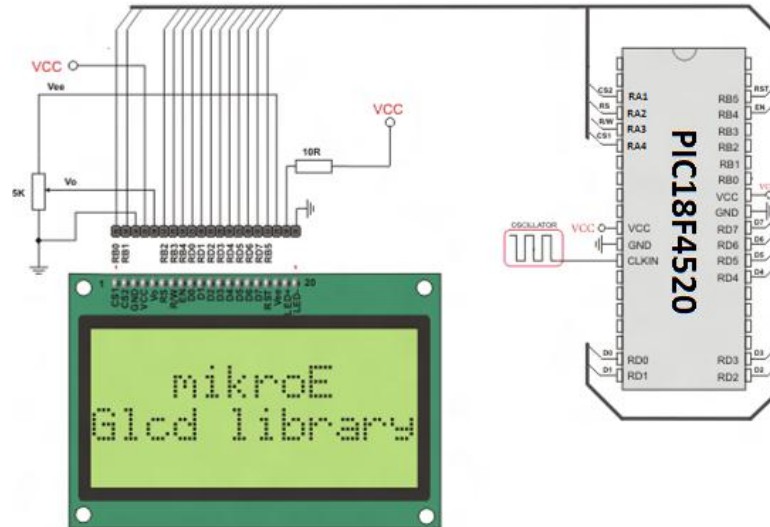
Teniendo este valor se multiplica por el valor de segundos totales recorridos desde que se inició el uso del carro y se obtiene la distancia total recorrida. Debido a que se tiene que tener el valor recorrido total del vehículo, cada vez que se avanza un metro, se almacena el valor de metros recorridos en la EEPROM del microcontrolador, utilizando la librería de MikroC para el almacenamiento en memoria EEPROM.

La forma que se utiliza para desplegar siempre la distancia real recorrida se utilizan tres variables el valor leído de EEPROM el valor recorrido después de la última lectura en EEPROM, y el valor que se va a desplegar en la LCD.

La variable que tiene el valor recorrido después de la última lectura se obtiene al multiplicar la velocidad promedio con los segundos recorridos después

b. CONEXIÓN DE LA PANTALLA CON EL PIC

Figura 211: Conexión de la GLCD con el microcontrolador.



4) PROCEDIMIENTOS DE MIKROC PARA EL MANEJO DE LA PANTALLA GRÁFICA:

```
void Glcd_Init();
```

No necesita ningún parámetro pero necesitan estar las conexiones definidas para poder inicializar la pantalla y poder usar la librería.

Ejemplo de las conexiones a definir:

```
char GLCD_DataPort at PORTD;
```

```
sbit GLCD_CS1 at RA4_bit;
```

```
sbit GLCD_CS2 at RA1_bit;
```

```
sbit GLCD_RS at RA2_bit;
```

```
sbit GLCD_RW at RA3_bit;
```

```

sbit GLCD_EN at RB4_bit;

sbit GLCD_RST at RB5_bit;

sbit GLCD_CS1_Direction at TRISA4_bit;

sbit GLCD_CS2_Direction at TRISA1_bit;

sbit GLCD_RS_Direction at TRISA2_bit;

sbit GLCD_RW_Direction at TRISA3_bit;

sbit GLCD_EN_Direction at TRISB4_bit;

sbit GLCD_RST_Direction at TRISB5_bit;

void Glcd_Set_Side(unsigned short x_pos);

```

Selecciona el lado activo de la GLCD, tiene como parámetro un número entre 0 y 255, cualquier número menor que 127 activa el lado izquierdo y cualquier número mayor a 127 activa el lado derecho.

```
void Glcd_Set_X(unsigned short x_pos);
```

Selecciona la posición en X de la pantalla en el lado activo, tiene como parámetro un número entre 0 y 63 el cual es la posición en x que se necesita.

```
void Glcd_Set_Page(unsigned short Page);
```

Selecciona la página activa, tiene como parámetro el número de página que se desea tener activo, los valores validos del parámetro son de 0 a 7.

```
void Glcd_Write_Data(unsigned short ddata);
```

Envía un byte de información a la memoria RAM de la pantalla GLCD, necesita activarse el lado, la página y la posición en x anteriormente con los métodos respectivos para poder desplegar el byte en ese lugar de la pantalla.

```
void Glcd_Fill(unsigned short pattern);
```

Llena la memoria RAM de la pantalla con el patrón enviado en el parámetro `pattern`. Se utiliza para limpiar la pantalla o llenar la pantalla colocando el valor 0 en `pattern` para limpiar y 0xFF para llenar la pantalla.

```
void Glcd_Write_Char(unsigned short chr, unsigned short
x_pos, unsigned short page_num, unsigned short color);
```

Escribe un carácter en pantalla dependiendo de la posición en `x` y la página deseada, y con el parámetro `short color`, se escoge si quieren llenarse los píxeles o borrarse.

```
void Glcd_Image(code const unsigned short *image);
```

Despliega una imagen en la pantalla que fue previamente creada y almacenada en la memoria de programa.

```
void Glcd_Write_Text(char *text, unsigned short x_pos,
unsigned short page_num, unsigned short color);
```

Escribe un texto en pantalla dependiendo de la posición en `x` y la página deseada, y con el parámetro `short color`, se escoge si quieren llenarse los píxeles o borrarse.

c. REPRESENTACIÓN DE LAS VARIABLES CON IMÁGENES. Todas las variables que son desplegadas en pantalla son imágenes fijas que representan algún valor o nivel de la variable a desplegar, por ejemplo, la intensidad solar está representada en 4 niveles, por lo que se tienen 5 imágenes diferentes para representar la intensidad solar. La primera imagen es una sin ninguna barra coloreada (Sol 0), mientras si la intensidad solar está a un 75% se tiene otra para representar esto (Sol 3), y así con cada una de las variables.

Un fragmento de la matriz generada es la siguiente:

Figura 214: Matriz generada por bitmap editor

```
// -----
// GLCD Picture name: sol0.bmp
// GLCD Model: KS0108 128x64
// -----

const code char sol0[1024] = {
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 128, 248, 248, 0, 0, 0, 0,
0, 128, 192, 96, 48, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 192, 192, 128, 128, 0,
0, 0, 3, 6, 12, 28, 40, 208, 160, 32, 224, 192, 0,
```

Así cada una de las localidades de la matriz contiene 8 bits de información, lo cual completa los 8192 puntos que contiene la pantalla GLCD.

e. DESPLIEGUE DE IMAGEN DESDE MEDIO DE ALMACENAMIENTO EXTERNO. La matriz que se genera se puede usar con el método `GLCD_Image(sol0)`; por ejemplo, para que la librería se encargara de desplegar la imagen en la pantalla. El problema que esto representa, es que las matrices que contienen cada una de las imágenes, son constantes que tienen que estar almacenadas en la memoria de programa. Aunque el PIC de la familia 18 cuenta con más memoria de programa que la familia 16, son más de 50 imágenes las que utilizaron, lo que implicaría tener más de 50Kbytes de memoria de programa, solo para el almacenamiento de las imágenes.

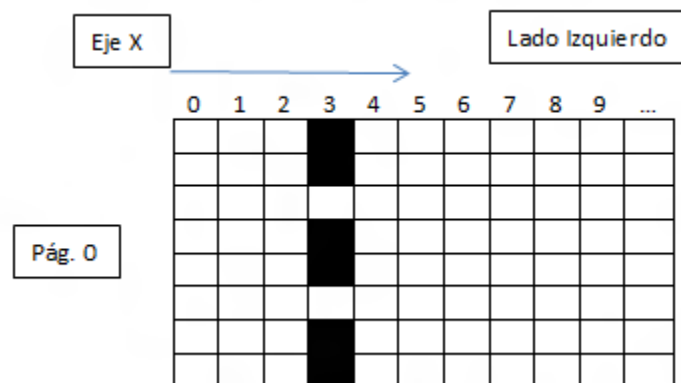
Para solucionar esto, se decidió utilizar un medio de almacenamiento externo, para lo que se usa una tarjeta SD con capacidad de 2 Gigabytes. La memoria SD se utiliza con librerías de MikroC, su manejo detallado se explica en la sección del almacenamiento externo.

La diferencia entre desplegar imágenes que se van a traer a la memoria SD, es que no se puede utilizar el método de `GLCD_Image()`, debido a que está

hecho para funcionar únicamente con constantes guardadas en la memoria de programa. Entonces se necesita crear un procedimiento capaz de pintar la imagen utilizando una variable.

La memoria cuenta con sectores, cada sector tiene una capacidad de 512 bytes, lo que significa que en cada localidad se puede grabar únicamente la mitad de cada imagen a desplegar. Para poder desplegar en la GLCD las imágenes guardadas en dos sectores diferentes de la memoria externa se usó el método `Glcd_Write_Data(unsigned short ddata)`; el método enciende los pixeles en la pantalla dependiendo del byte que se manda, el punto en x, el lado seleccionado y la pagina activa. El byte tiene la información de los pixeles en el eje Y, que tienen que estar encendidos para la respectiva posición activa del eje X, en la página activa y el lado seleccionado. Por ejemplo, si se tiene la página 0, la posición $x = 3$, y el lado izquierdo de la pantalla suponiendo que el byte de `ddata = 10011011`, la representación en pantalla seria la siguiente:

Figura 215: Estructura de pixeles en GLCD



La matriz generada por la herramienta de MikroC, tiene la información de cada posición en el eje Y para las ocho páginas y 63 posiciones en el eje X para cada página y para cada lado. De esta manera la posición 0 de la matriz de 1024 tiene la información para los 8 pixeles en y de la posición 0 en X, de la página 0 y el lado izquierdo, y así sucesivamente hasta la posición 63 de la matriz, que tiene los 8 pixeles de la misma página el mismo lado y la posición $X = 63$. La

posición 64 de la matriz tiene la información para la posición $X=0$ del lado derecho, de la página 0 y así hasta la posición 127 de la matriz que tiene el lado derecho de la misma página en el valor de $X=63$. La posición 128 de la matriz, tendría los 8 pixeles de la página 1, lado izquierdo posición $X=0$, y así sucesivamente hasta llegar a la posición 1023 del arreglo de bytes.

Al conocer la manera en la que estos datos se encuentran codificados y la forma en la que el procedimiento de escribir datos en la GLCD funciona, se creó un procedimiento para poder pintar sobre la pantalla con los datos traídos desde la memoria SD.

El procedimiento lee el sector de la memoria externa y guarda los 512 bytes en una matriz. Al tener la mitad de la imagen guardada en esa variable se procede a enviar esa información a la GLCD. Para empezar a llenar la pantalla, se coloca como posición $x=0$, el lado izquierdo y la página 0. Se recorre la matriz, mandando cada uno de los bytes a la matriz hasta llegar a la posición en $x=63$. Luego cuando la posición es un múltiplo de 64, se hace un cambio de lado, y se pone la posición en $x=0$, así la posición 64 del arreglo de bytes se envía teniendo como activo el lado derecho, y en el caso que se esté en el lado derecho regresa al izquierdo.

Cada vez que el índice del arreglo es un múltiplo de 128, quiere decir que hay que hacer un cambio de página, por lo que cuando el índice de la matriz cumple con ser un múltiplo de 128 se incrementa la página por uno. Esto se repite hasta que se recorre el arreglo completo y se envían los 512 bytes a la pantalla. Con esto se logra pintar la mitad de la pantalla. Luego se tiene que ir a leer el otro sector, y repetir el proceso pero empezando desde la página 4. (*Código implementado disponible en anexos, procedimiento void pintar(int direccion)).

6. USO DE LA MEMORIA SD. La tarjeta SD se utiliza con la librería MMC de MikroC, que tiene métodos definidos para hacer la lectura y la escritura de una manera sencilla utilizando lenguaje de alto nivel.

Para el correcto funcionamiento de estas librerías de manejo de la SD, también es necesario utilizar la librería de SPI de MikroC, ya que la comunicación con la tarjeta, se hace mediante este bus.

a. PROCEDIMIENTOS DE MIKROC PARA EL USO DE LA TARJETA SD. El procedimiento utilizado de la librería SPI es:

```
void SPIx_Init_Advanced(unsigned short master_slav, unsigned short data_sample, unsigned short clock_idle, unsigned short transmit_edge)
```

El primer parámetro indica el modo de funcionamiento del SPI que puede tener los siguientes valores:

Tabla 35: Modos de funcionamiento SPI Advanced.

Modo de funcionamiento	
Reloj de master = Fosc/4	_SPI_MASTER_OSC_DIV4
Reloj de master = Fosc/16	_SPI_MASTER_OSC_DIV16
Reloj de master = Fosc/64	_SPI_MASTER_OSC_DIV64
Reloj de master en timer2	_SPI_MASTER_TMR2
Selección de esclavo habilitada	_SPI_SLAVE_SS_ENABLE
Selección de esclavo deshabilitada	_SPI_SLAVE_SS_DIS

El segundo parámetro de la inicialización determina el intervalo del muestreo de datos y puede tener los siguientes valores:

Tabla 36: Intervalos de muestreo de datos para metodo SPI Advanced

Intervalo de muestreo de datos	
Muestreo de datos de entrada muestreados a la mitad del intervalo	_SPI_DATA_SAMPLE_MIDDLE
Muestreo de datos de entrada muestreados al final del intervalo	_SPI_DATA_SAMPLE_END

El tercer parámetro indica el comportamiento del reloj en estado de reposo.

Tabla 37: Comportamiento de reloj en estado de reposo SPI Advanced

SPI clock idle state:	
Reposo en high, activo en low	_SPI_CLK_IDLE_HIGH
Reposo en low, activo en high	_SPI_CLK_IDLE_LOW

Y el último indica el flanco de transmisión:

Tabla 38: Flanco de transmisión de datos para SPI Advanced

Flanco de transmisión	
Los datos se transmiten en el flanco de bajo a alto	_SPI_LOW_2_HIGH
Los datos se transmiten en el flanco de alto a bajo	_SPI_HIGH_2_LOW

Para el correcto funcionamiento del módulo de la SD, se utiliza el procedimiento de la siguiente manera:

```
SPI1_Init_Advanced(_SPI_MASTER_OSC_DIV64,
_SPI_DATA_SAMPLE_MIDDLE,
_SPI_CLK_IDLE_LOW, _SPI_LOW_2_HIGH);
```

Procedimientos de la librería MMC:

```
unsigned char Mmc_Init();
```

El procedimiento devuelve 0, en caso de que la memoria fue inicializada correctamente, en el caso contrario devuelve 0. Se necesitan declarar las conexiones de la tarjeta con el microcontrolador en el caso de la aplicación las conexiones declaradas fueron las siguientes:

```
sbit Mmc_Chip_Select      at LATC0_bit;

sbit Mmc_Chip_Select_Direction at TRISC0_bit;

unsigned char Mmc_Write_Sector(unsigned long
sector, char *dbuf);
```

El procedimiento recibe el sector en el que se tiene que escribir, y el arreglo de 512 bytes que se tiene que se va a guardar en la memoria. El procedimiento devuelve 0, en caso de que la escritura en la memoria ha sido exitosa. Envía 1 en caso de que exista un error al mandar el comando de escritura y 2 en el caso de que exista error en la escritura (que el dato haya sido rechazado).

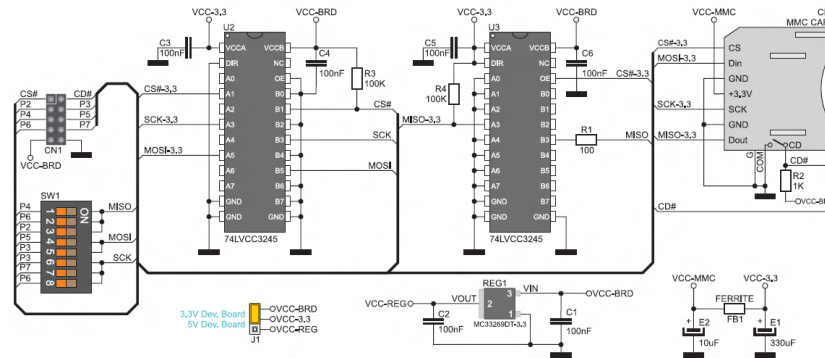
```
unsigned char Mmc_Read_Sector(unsigned long
sector, char *dbuf);
```

El procedimiento recibe el sector que se quiere leer, y el arreglo en el que se desean guardar los 512 bytes que vienen de la memoria.

El procedimiento devuelve 0 en caso de que la lectura se ha sido exitosa y devuelve 1 en caso de que exista algún error.

b. CONEXIÓN DE LA MEMORIA SD. La tarjeta SD funciona por medio de la comunicación SPI, pero para utilizarla correctamente se necesita una alimentación de 3.3V, y todo el sistema funciona a 5V. Debido a este detalle se utiliza un módulo de tarjetas SD que se encarga de hacer la conversión de los 5V del sistema general para que se pueda utilizar bien la SD. El módulo es un circuito creado por Mikroelektronika, y está conectado de la siguiente manera, como se muestra en la Figura 216.

Figura 216: Circuito controlador de SD. [62]

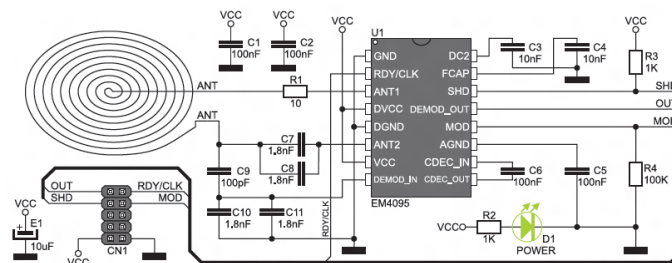


La posición de los interruptores en SW1, se conectan en función del microcontrolador que se esté utilizando para conectar las líneas de la comunicación SPI.

7. USO DEL RFID. La aplicación cuenta con un método de encendido por medio de una tarjeta RFID que sirve como llave electrónica. Para realizar esto se utiliza un módulo de lector de tarjetas RFID que funciona mediante un integrado EM4095, el cual es un circuito de tecnología CMOS transceptor diseñado para el uso en lectores RFID de bajo costo.

a. CIRCUITO LECTOR DE TARJETAS RFID. El circuito del módulo que contiene el lector de tarjetas RFID se presenta en la Figura 217.

Figura 217: Circuito lector de tarjetas RFID. [61]



El módulo cuenta con 4 conexiones las cuales son el OUT, RDY/CLK, SHD y MOD. Estos se encuentran conectados en el puerto B en sus bits 0, 1, 2 y 3 respectivamente. El código que lee la tarjeta RFID se encuentra al inicio del

método principal, de manera que se encuentra en un ciclo hasta que recibe el valor de la tarjeta válida para encender el carro.

El módulo se utiliza por medio de la interrupción del puerto B, tanto en la interrupción del Pin RB0 como el de la interrupción del Pin RB1. Por medio de las interrupciones se activa una bandera para obtener los datos de la tarjeta RFID, que entran a un arreglo de 64 bits, que luego se tiene que chequear por medio de un procedimiento CRC que dice si los datos son válidos. Cuando se revisa la validez de los datos, se observa el código de la tarjeta, y si es la tarjeta correcta se permite el encendido del carro.

8. COMUNICACIÓN USART MÓDULO SENSORES CON MÓDULO PRINCIPAL. La comunicación USART se hace de una manera bastante sencilla. Ya que MikroC cuenta con procedimientos similares a los de I2C para escribir y para leer datos. Utilizando dos líneas, la línea de RX y TX.

Uno de los inconvenientes que se presentaron al utilizar este tipo de comunicación, es que para uno de los microcontroladores, se utilizaba el oscilador interno con el que cuentan, el cual puede llegar a perder calibración.

Debido a que la velocidad a la que se envía cada dato por la línea de transmisión se calcula en función de este oscilador, si el oscilador se encuentra a un valor diferente al que se pone en el proyecto, los datos no llegan de manera correcta de un MCU al otro. Por lo tanto para resolver este problema se utilizaron osciladores externos para todos los microcontroladores y de esa manera la comunicación se realizó de manera correcta.

Debido a que se reciben varias variables desde el módulo de sensores, como cada dato genera una interrupción en el microcontrolador, para evitar una codificación de las variables para conocer cuál es las variables se envían en orden. Utilizando un contador cada vez que se genera una interrupción el contador se incrementa, de manera que la primera vez, que es cuando el contador se encuentra en 0, el programa recibe el dato y lo guarda en la primera variable e incrementa el contador, de manera que cuando la segunda

interrupción ocurre el contador tiene el valor de 1, guardando el dato recibido en la siguiente variable, y así sucesivamente hasta que se reciben todas las variables y el contador regresa otra vez a 0.

9. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PLACAS DE COBRE PARA EL MÓDULO. Luego de que se probó todo el circuito funcionando en una placa de prototipo (*protoboard*), se comenzó a hacer el diseño de las placas para crear el módulo como un dispositivo que luego se pueda poner en el vehículo. Debido a que todo el sistema es de baja potencia, las consideraciones de anchos de caminos solamente fueron limitadas por las especificaciones necesarias para la máquina CNC en los que se fabricarán.

Para su elaboración se utilizó el software de Altium Designer. Las placas resultantes se muestran en la Figura 218 y 219.

Figura 218: Capa superior de la placa.

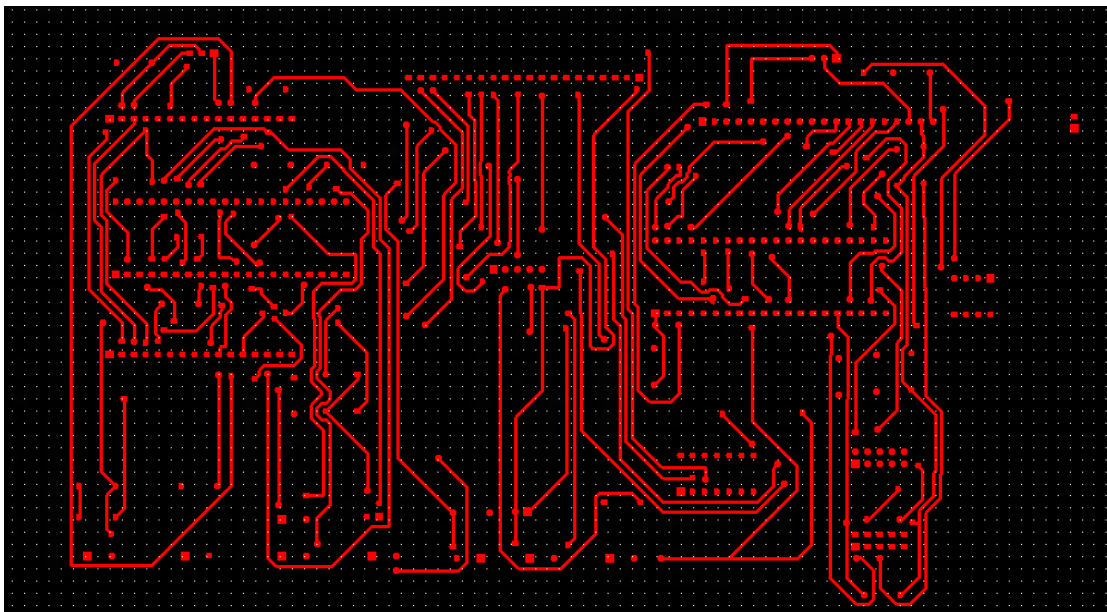
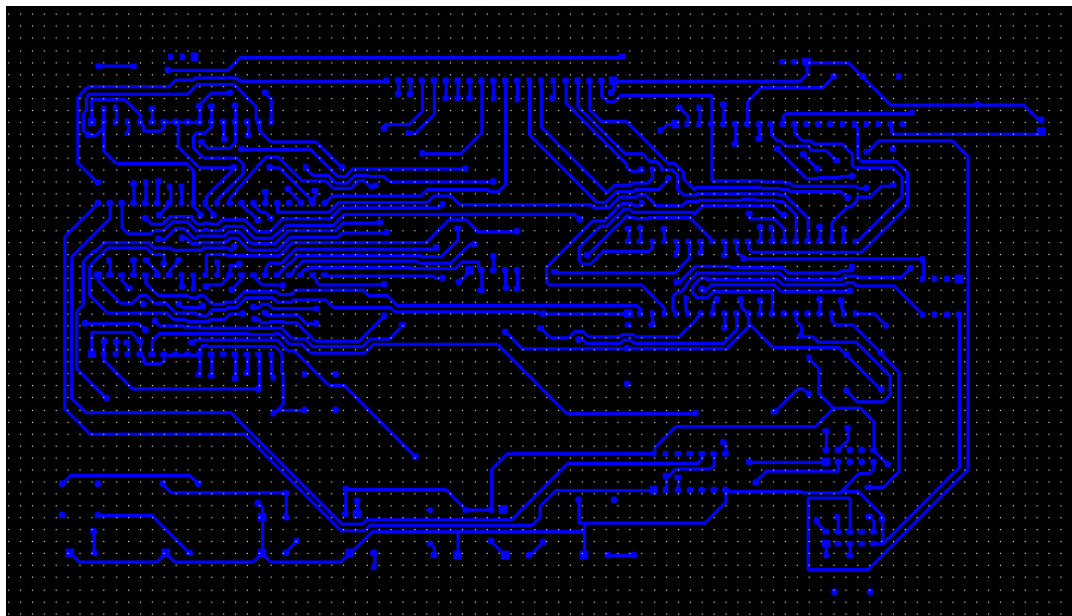


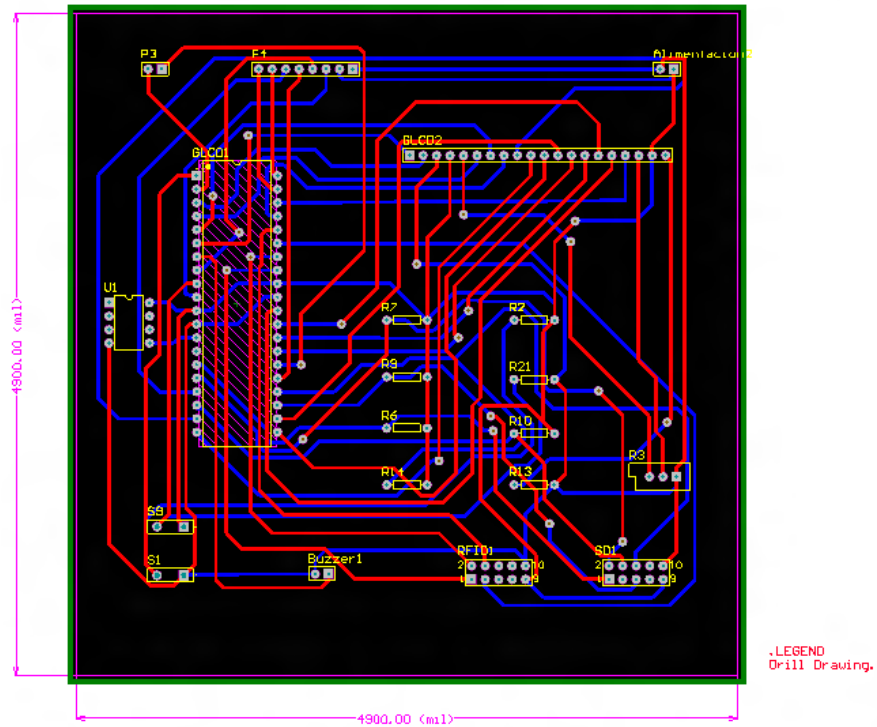
Figura 219: Capa inferior de la placa.



Luego de generar los archivos *Gerber* para hacer una isolación de la placa y construirla, se notó que ni siquiera, usando la herramienta más pequeña de la máquina CNC, se podría maquinar correctamente. De manera que se dividió el circuito en 2, teniendo una placa para las dos pantallas LCD, y una para la pantalla GLCD.

En la Figura 220, se muestra la placa de la pantalla gráfica, con su módulo de almacenamiento externo (SD), y el módulo de lector de tarjetas RFID. En rojo se muestra la capa superior, y en azul la capa inferior de la placa de cobre.

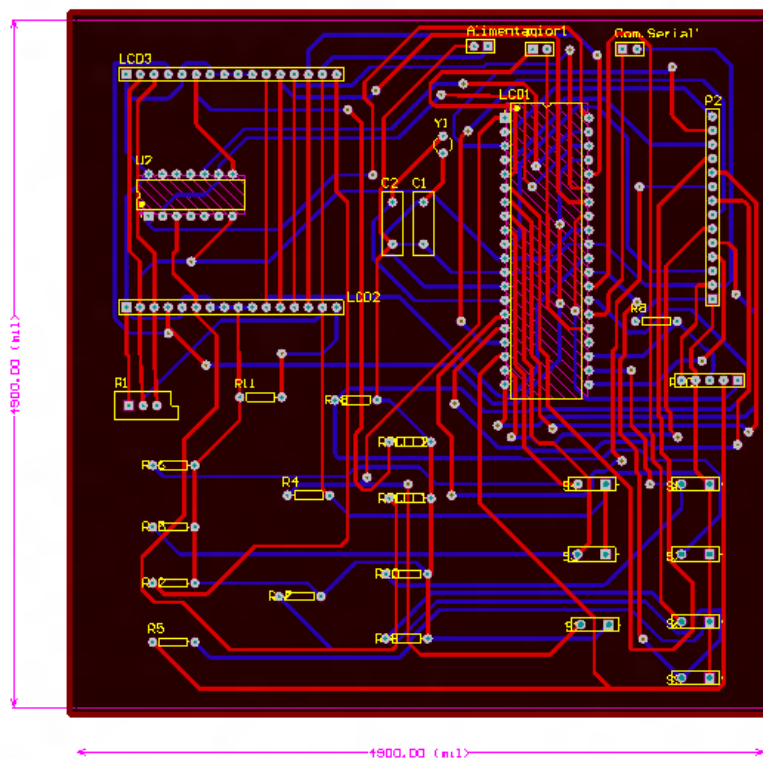
Figura 220: Placa de la pantalla GLCD, con el módulo SD y RFID



En la Figura 221 se muestra la placa de cobre para las pantallas LCD, con el módulo de reloj de tiempo real (RTC).

Al igual que en la placa anterior se muestra de color rojo la capa superior de la placa y de azul la capa inferior de la placa de cobre.

Figura 221: Placa de las pantallas LCD con el circuito RTC.



En la Figura 222 se presenta el proyecto en sus placas de cobre funcionando con todos los sistemas conectados entre sí.

Figura 222: Placas de cobre con todos los sistemas integrados.



C. METODOLOGÍA

La primera parte para el diseño de la computadora principal, es la construcción de un dispositivo de despliegue, para que el usuario pueda visualizar las variables del vehículo mientras lo utiliza. Para lo mismo se investigaron módulos de visualización existentes, para tomar una idea, para que de esa manera se pueda diseñar una interfaz sencilla, que de una manera eficaz, sea capaz de mostrar los niveles actuales de cada una de las fuentes de energía, la velocidad, y otras variables que se consideren importantes de conocer por el usuario.

Luego de diseñar el módulo de visualización, se procedió a la construcción física del mismo, a manera de hacer pruebas y así observar la manera en la que las variables son desplegadas, y de ser necesario hacer ajustes en la misma a manera de lograr un despliegue óptimo para el usuario.

Ya teniendo el dispositivo de visualización construido, se diseñó el circuito eléctrico encargado del manejo del módulo de visualización, utilizando recursos, tanto del internet, como fuentes bibliográficas acerca de la mejor manera de controlar por medio de un circuito programable, la cantidad de luces que se encuentran en el mismo.

Teniendo el diseño del circuito se realizaron pruebas, construyendo el mismo en un tablero de prototipos, cableando el circuito a manera de desplegar valores de prueba para todas las variables, y comprobar que el sistema completo funciona de una manera aceptable.

Luego el circuito hecho en el tablero de pruebas se creó en un software especializado una placa impresa en cobre, a manera de poder armar el dispositivo de visualización junto con el circuito eléctrico que lo controla en un solo encapsulado con salidas únicamente para obtener los valores de las variables de los sensores externos. Luego creó la interfaz entre el controlador principal con el lector de tarjetas RFID, para conseguir el encendido del vehículo con una llave electrónica.

Por último se realizaron pruebas con el módulo de sensores, para comprobar que las variables que se están mandando efectivamente se despliegan de una manera adecuada y correcta, y montar el dispositivo completo y toda su alimentación eléctrica en el vehículo.

D. RESULTADOS

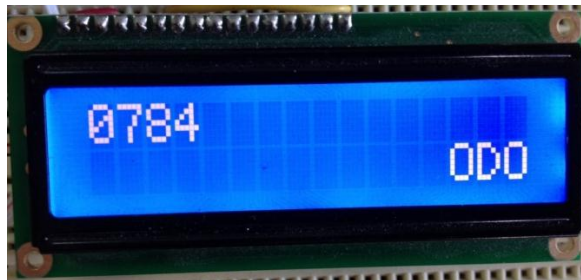
1. RESULTADOS DE MANEJO DE RTC Y DESPLIEGUE EN LCD

Figura 223: Pantalla LCD desplegando hora y fecha leído del RTC



2. RESULTADOS DEL MANEJO DEL ODÓMETRO

Figura 224: Odómetro del vehículo



3. RESULTADOS DE GLCD, LECTOR RFID Y MEMORIA SD FUNCIONANDO JUNTOS. De la Figura 225 a la Figura 233, se muestran imágenes de la pantalla GLCD funcionando en un tablero de prototipos, con todos los módulos conectados y funcionando al mismo tiempo.

Figura 225: Pantalla inicial del vehículo



Figura 226: Pantalla GLCD representando que la llave no es valida



Figura 227: Pantalla GLCD representando llave válida



Figura 228: Pantalla desplegada al pasar llave válida y encender el vehículo



Figura 229: Variable de intensidad solar desplegado desde memoria SD

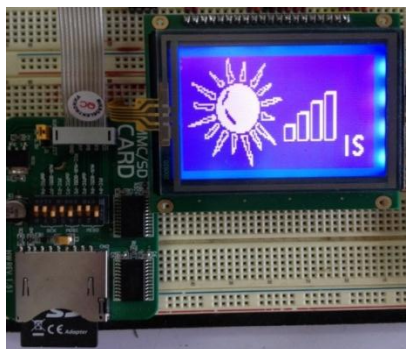


Figura 230: Pantalla presentada si no se lee bien la SD.



Figura 231: Pantalla con variable de gasolina y batería.

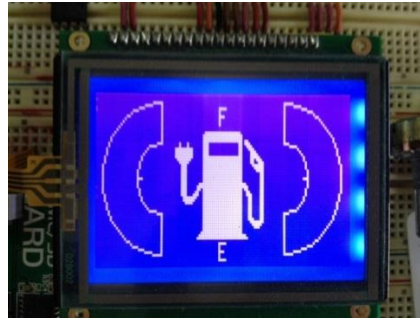
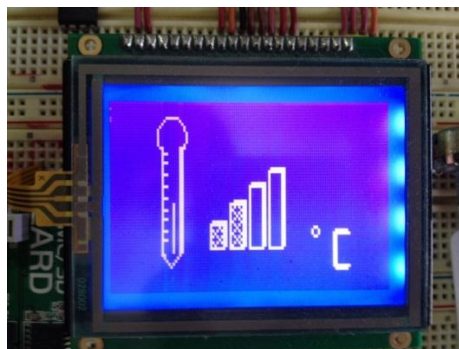


Figura 232: Velocímetro con un valor entrante del módulo de sensores de 17 km/h



Figura 233: Variable de temperatura de motor con un valor al 50%



E. DISCUSIÓN

Uno de los problemas que se observó al ejecutar esta parte del proyecto, era que a veces el programa entraba en un ciclo infinito, por lo cual el microcontrolador no podía seguir ejecutando todo el programa. Luego de varias pruebas, y de ir descartando cosas mediante depuración (*debugging*), en la cual se eliminaban pedazos de código, poniendo los mismos como comentarios, y así tratar de llegar a cuál era la porción de código que hacía que el microcontrolador se quedara en un ciclo infinito.

Al principio el programa tenía un procedimiento en el ciclo principal que se encargaba de ir a leer los valores del RTC y ponerlos en pantalla, pero debido a que se está trabajando a una frecuencia bastante alta (20MHZ), el circuito integrado del RTC se leía miles de veces por segundo. Al leer bien las especificaciones de la hoja técnica del DS1307, se observa que existe un tiempo mínimo entre lecturas consecutivas que se tiene que cumplir si se quiere obtener una lectura exitosa del mismo.

Por esta razón se habilitó la señal cuadrada de 1Hz que tiene el integrado, con tal de usarlo con la interrupción del Puerto RB0, y así leer y actualizar el contenido de la LCD únicamente cada segundo, con lo que el tiempo mínimo indicado por las especificaciones se cumple ampliamente. Cuando se implementó esto ya no se tuvieron más problemas y se hicieron pruebas en las que el circuito estuvo encendido por varias horas y no se observó ningún inconveniente.

XII. CONCLUSIONES

1. Se utilizó el controlador DC Curtis 1204-101 ya que tiene la capacidad de soportar cinco veces la corriente nominal consumida por el motor eléctrico, siendo la opción más accesible para realizar el control de este.
2. El módulo de control de motores utiliza un PIC16F84A que tiene las entradas y salidas necesarias para controlar el equipo auxiliar del controlador DC y llevar a cabo el encendido del motor de combustión interna.
3. Después de las pruebas de arranque realizadas con el motor de combustión interna se logró observar que el sensor magnético de efecto Hall utilizado es capaz de emitir una señal adecuada aún bajo condiciones de alta temperatura y vibración.
4. Los elementos seleccionados como equipo auxiliar ayudan al buen funcionamiento del controlador DC ya que no permiten la activación de este cuando el vehículo se encuentra apagado, previenen la aceleración cuando se presiona el freno, y altos consumos de corriente cuando este se activa.
5. El *starter* tiene un consumo de corriente nominal de 25 amperios, y el relé de 12 V y 40 A utilizado para el arranque del motor de combustión interna tiene la capacidad de realizar la activación de este.
6. Durante las pruebas de arranque del motor de combustión interna, se observó que este no siempre arrancaba al primer intento, por lo que se optó por tener tres oportunidades para arrancarlo y si este no arranca se tiene la opción de utilizar un pin del microcontrolador que indica que este no arrancó.

7. El dimensionamiento utilizado en los fusibles para la protección de los circuitos electrónicos, luces y *starter* fue la adecuada. Sin embargo el fusible utilizado para el motor eléctrico tuvo que ser sobredimensionado a más de 4 veces la corriente nominal de este ya que al acelerar y al girar la corriente se eleva valores cercanos a estos.
8. Si se desean utilizar transistores como interruptores en aplicaciones que demanden altas cantidades de corriente, se debe examinar lo mejor posible la aplicación para que estos funcionen adecuadamente. El vehículo no se puede movilizar del taller de metal-mecánica hasta el campus de la universidad ya que en las pruebas se determinó que el motor eléctrico demandaba una corriente mayor a 35 amperios en subidas. Si las baterías entregan un amperaje más alto, se corre el riesgo de que el motor se funda.
9. El vehículo no se puede movilizar a más de 30 kilómetros por hora ya que en las pruebas se determinó que el motor eléctrico demandaba una corriente mayor a 35 amperios en subidas. Si las baterías entregan un amperaje más alto, se corre el riesgo de que el motor se funda.
10. Debido a los inconvenientes presentados por la poca capacidad del motor, fue necesario hacer modificaciones a la relación de reducción entre el motor y el eje de salida. Esto afectó el diseño del eje reduciendo el factor de seguridad a 0.63.
11. Se estima que los rodamientos dentro de las chumaceras donde se apoya el eje son adecuados para el funcionamiento del vehículo ya que la carga dinámica que estos soportan es de 5660 lbf y se calculó que estos están sometidos a 4188.9 lbf.
12. Se logró obtener una relación de amortiguamiento cercana al intervalo que se propuso en el objetivo. Con los sistemas de resorte-amortiguador que se tenían disponibles en el taller, lo más cerca que se pudo llegar al intervalo fue con una relación de amortiguamiento 0.47.

13. Se logró obtener las funciones que describen el comportamiento de la suspensión luego de que esta sufre un impacto. Luego de analizar la gráfica del comportamiento del movimiento de la suspensión y del comportamiento de la fuerza transmitida al chasis, se vio que el sistema se estabiliza a los 0.75 segundos y la fuerza que se transmite al chasis se disipa a los 0.25 segundos.
14. Se creó un plan de mantenimiento para el sistema de transmisión de potencia que se debe realizar cada 100 kilómetros, que incluye la lubricación de la cadena, revisión de eslabones, revisión de sprockets y lubricación de chumaceras. Para el sistema de suspensión se debe realizar cada 400 kilómetros en donde se indica la revisión de los empaques del amortiguador.
15. Se instaló un sistema de frenos hidráulicos a los que el conductor aplica una fuerza leve en el pedal para frenar en un tiempo y distancia aproximada de 3.24 segundos y menos de 18 metros.
16. Para el sistema de dirección se empleó un mecanismo con utilización del principio Ackerman, debido a los tornillos que sostienen las llantas delanteras, brindando un ángulo de giro diferente en la llanta izquierda y otra para la derecha. El conductor aplica en el timón una fuerza reducida y fácil de realizar.
17. Se emplearon dos discos de 24 centímetros de diámetro externo en la parte posterior del auto, sobre el eje transmisor de potencia, frenando el vehículo desde 30 km/h hasta el reposo.
18. El material utilizado para el mecanismo de dirección fue acero gracias a poseer un valor de 550 MPa para el esfuerzo último y de esta forma soportar las cargas generadas por la fuerza empleada para girar.

19. Los resultados en las pruebas de frenado fueron satisfactorias debido a que los datos se encuentran dentro del rango teórico esperado, frenar antes o en 20 metros con un tiempo de 3.24 segundos.
20. Se construyó el módulo de recargas de baterías ya que las baterías es la fuente principal de energía del prototipo por lo que es muy importante éste módulo.
21. La mejor forma de recargar las baterías es por medio del sistema de recarga estacionario ya que con el sistema de recarga móvil solamente se funciona por lapsos de 10 minutos.
22. Se estima que la duración de las baterías supera las 2 horas pero el motor eléctrico podría dejar de funcionar por completo.
23. Se logró cambiar la configuración de las baterías sin desmontar las baterías por medios de relés en la cual éstos soportan la corriente que está consumiendo el motor eléctrico inclusive cuando se está exigiendo el doble de la corriente nominal del motor eléctrico.
24. Se escogieron baterías a base de plomo ya que tiene la ventaja de poder utilizarse mientras se está cargando.
25. El acoplamiento utilizado para transformar de energía mecánica a energía eléctrica fue mediante poleas y fajas ya que es más silencioso que utilizar cadenas y se obtuvo una eficiencia del 95%.
26. Se seleccionó utilizar un motor de 4 tiempos Yumbo Road Power 125 c.c. sobre un motor de dos tiempos DLE debido a que era factible la reparación del motor, posee 3 hp de potencia más que el motor DLE y no requiere una mezcla de aceite-gasolina para su operación.
27. Se obtuvo una eficiencia global en la transmisión de potencia de un 95.3%, lo cual involucra la eficiencia de la transmisión de potencia de la banda y la eficiencia interna del generador eléctrico.

28. Se realizó un plan de manteniendo menor para cada 150 horas o un año de operación en donde se debe realizar un cambio de aceite, filtro de aceite, limpieza general del motor, limpieza de bornes de la batería, verificar un régimen de operación de 4,650 rpm e inspeccionar posibles fugas de aceite y/o gasolina. Se realizó un plan de mantenimiento mayor para cada 300 horas en donde se deben realizar las mismas tareas que un servicio menor y adicionar la limpieza del filtro de aire y calibrar válvulas.
29. Se obtuvo una eficiencia en la transición de potencia de un 95.36% implementando un sistema de bandas en V tipo A desde una polea impulsora de 3 pulgadas hacia una polea impulsada de 4 pulgadas unidas por una banda A26.
30. El diseño de un sensor de nivel para Gasolina implica varios criterios adicionales y de suma importancia como el flote, solubilidad y prevención de accidentes.
31. Resulta complicado el implementar un sensor de nivel de combustible con mucha precisión, por lo que un análisis energético preciso sería casi imposible.
32. La implementación de sensores de corriente en las fuentes de alimentación (panel solar y baterías) permite contrastar el aporte energético que cada una de ellas brinda al sistema.
33. El integrar un sensor de intensidad lumínica ayuda a determinar bajo qué características de luminosas se encuentra operando el panel solar.
34. La lectura correspondiente a la velocidad del vehículo es una aproximación cercana al valor real, ya que depende de otras variables no controladas del sistema.

35. Los voltajes que marcan el rango del ciclo de carga y descarga son únicos para cada batería y varían en mayor cantidad según el tiempo de vida de estas.
36. Resulta complicado diseñar un sistema de medición de carga de batería siempre óptimo y certero, debido a las constantes variaciones en las características de los acumuladores y el estado de sus reactivos.
37. El Módulo de computadora central provee un sistema de visualización completo de las variables medidas del vehículo híbrido gracias a utilización de pantallas alfanuméricas y una pantalla gráfica.
38. La comunicación entre microcontroladores debe realizarse con osciladores externos para que se pueda tener una recepción y envío de datos correcta pues los internos pueden sufrir leves desviaciones que resultan críticas en esos casos.
39. Cuando una placa de cobre tiene una complejidad muy alta en su elaboración se debe dividir en sub módulos, y realizar placas más pequeñas con conexiones entre ellas para que se puedan maquinar, soldar y construir de una manera más sencilla.

XIII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar un motor eléctrico de mayor potencia para tener la capacidad de hacer giros más cerrados debido a la falta de un diferencial, lograr aceleraciones más rápidas y tener la capacidad de trabajar en superficies inclinadas.
2. El relé de reversa utilizado tiene una capacidad de corriente muy cercana a la que consume el motor, por lo que se recomienda utilizar dos contactores SPDT o un solo contactor DPDT para hacer el cambio de polaridad del motor eléctrico.
3. Para implementar un sistema de arranque más robusto se recomienda el uso de un servomotor para poder acelerar el motor en el caso que este no arranque en el primer intento.
4. Actualmente la reversa se puede activar solo al presionar el freno, por lo que si se el vehículo está en movimiento y se presiona el freno, se puede hacer la activación. Se recomienda modificar el programa para que únicamente se pueda activar cuando se está en reposo.
5. Si se logra disminuir el peso del vehículo se puede utilizar un motor de menor potencia y de esta manera reducir los costos de este.
6. Se puede implementar un sistema de protección para el motor para que si se supera la corriente a la que este fue diseñado, se puede limitar la aceleración y velocidad por medio de software para prevenir el daño de este.
7. Hacer un análisis para ver que potencia se necesita para que el vehículo pueda utilizarse en superficies inclinadas.
8. No se debe forzar mucho el motor, ya que aunque la relación de reducción entre la velocidad angular motor y la velocidad angular del eje

permite que el motor trabaje sin mucha exigencia, operarlo en condiciones límite puede causar serios problemas de sobre corriente en el motor y el controlador.

9. Se recomienda utilizar un material más resistente para el eje motriz ya que con las condiciones supuestas para el diseño, no se cumple con el factor de seguridad propuesto. Se debe mejorar el diseño realizándolo con las condiciones de operación reales.
10. Realizar el diseño del eje con el nuevo material, considerando la distribución real del peso de los componentes del vehículo.
11. Analizar la posibilidad de conectar el motor de combustión interna al eje motriz mediante un embrague electrónico para aprovechar toda la potencia del motor.
12. Realizar un análisis de riesgos para determinar la ubicación apropiada de guardas para evitar accidentes que puedan ocurrir debido a las partes móviles como el eje, sprockets y la cadena.
13. Si se desea hacer un cambio en el recorrido del vehículo es recomendable modificar los frenos con un sistema que pueda otorgar una detención a una pendiente mayor a los 15 por ciento.
14. Para ampliar la pendiente a más de 8.5 grados de inclinación y teniendo disponibilidad de mayor presupuesto, hacer uso de una bomba de mayor tamaño que pueda activar ambas mordazas y de esta forma evitar el uso de dos sistemas individuales; además de comprar mordazas aptas para la bomba por tanto se estima un costo de Q1,150.00 extras.
15. En caso se modifique la trayectoria del vehículo, utilizar mordazas con pastillas de mayor tamaño para que el área en fricción se aumente y de esta forma obtener mayor fuerza de frenado. Además de evaluar el uso de frenos en las llantas delanteras.

16. Si la potencia del motor se incrementara, para aumentar la tracción en las llantas delanteras es aconsejable adicionar peso en la parte delantera del vehículo con el fin de adquirir mayor tracción entre llantas y suelo.
17. Realizar la compra de un dinamómetro para obtener la fuerza que debe ejercerse en el timón para realizar el cambio de dirección y de esta forma no dejarlo en un valor asumido. También para determinar la fuerza exacta que debe aplicarse en el pedal de freno.
18. Con mayor disponibilidad de presupuesto agregar un sistema hidráulico al timón con el fin de suavizar el giro y así poder agregar más peso en la parte delantera para obtener mayor tracción.
19. Agregar un sistema de frenos regenerativos para agregar una fuente de carga eléctrica extra a las disponibles.
20. Colocar una luz de freno para que pueda verse cuando el conductor esté presionando el pedal.
21. Utilizando baterías del mismo modelo se podrá obtener mejor la documentación de uso de energía del motor eléctrico.
22. Utilizar contactores DPDT en lugar de relés DPDT ya que esto soportan corrientes más altas.
23. Cambiar baterías a base de plomo con baterías de LiFePO_4 en celdas para mejorar eficiencia del carro disminuyendo relación peso con la potencia del vehículo y poder distribuir mejor el peso en todo el vehículo.
24. Utilizar un cargador con mayor corriente de carga para realizar con más rapidez la recarga de batería.
25. Tener un motor de combustión interna estable para que la velocidad del alternador sea constante ya que la velocidad del motor de combustión actual varía bastante.

26. Incorporar el cargador del sistema estacionario dentro del prototipo.
27. Diseñar y ensamblar un sistema de protección contra accidentes para el sistema de transmisión de potencia.
28. Diseñar y ensamblar un sistema con ventilador para aumentar la transferencia de calor del motor de combustión interna hacia el ambiente y así poder prolongar el tiempo de operación del motor de combustión interna.
29. Realizar el análisis económico para analizar la factibilidad de remplazar el motor actualmente instalado con un motor de combustión interna enfriado por agua para aumentar el tiempo de operación en la generación de energía eléctrica por medio de un generador eléctrico.
30. Utilizar las normas de seguridad planteadas en el mantenimiento para prevenir accidentes o incidentes durante la realización del mismo.
31. Asegurarse de que la banda de transmisión se encuentre tensada para evitar pérdidas de energía.
32. Realizar un análisis para implementación de una polea de 3.5 pulgadas en el generador eléctrico y así poder disminuir el régimen de operación del motor de combustión interna lo cual traerá beneficios al sistema como un menor consumo de combustible y menor generación de calor.
33. Medir el consumo real de combustible fósil durante la operación del motor de combustión interna.
34. Medir las vibraciones inducidas al sistema debido a la operación del motor de combustión interna
35. Analizar la correcta instalación del tanque de combustible.

36. Utilizar una polea impulsada de menor diámetro para disminuir el régimen de operación del motor de combustión interna y obtener el régimen de operación deseado en el generador eléctrico
37. Medir la potencia y el torque entregado por el motor de combustión interna en un banco de pruebas para obtener datos reales
38. Realizar un análisis químico del aceite a las 150 horas de operación para analizar si el tiempo de mantenimiento planteado es el correcto.
39. Determinar el valor máximo de temperatura a alcanzar por un motor de combustión interna y diseñar un sistema de prevención para limitar el funcionamiento antes de dicha umbral, para protección del sistema.
40. Adquirir un sensor de nivel para tanques de gasolina comercial en lugar de diseñar uno desde cero.
41. En caso de desear mayor precisión, se recomienda trabajar en el diseño de medición para el nivel de combustible por medio del peso del tanque.
42. Implementar un sistema de posición por GPS para medir la velocidad real del vehículo con mayor precisión, evitando problemas de aproximación como los percibidos por el sistema de medición diseñado.
43. Utilizar una batería única de un voltaje de 36V para alimentar el motor DC, de esta forma la medición del nivel de carga será más precisa, y no requerirá una calibración constante al remplazar el acumulador.
44. Rediseñando algunas partes del chasis y colocando o varios paneles solares de mejor tecnología podría hacer prescindir al sistema de otras fuentes de alimentación, aumentando el aporte energético de fuentes renovables al sistema.
45. Se puede considerar a futuro la utilización de la memoria SD como un depósito de las lecturas obtenidas en los sensores para poder luego

contar con esa información para hacer análisis más extensos y detallados de la eficiencia energética.

46. Se recomienda no exponer el sistema de visualización en ambientes con mucha humedad.
47. Se recomienda implementar el sistema de almacenamiento externo directamente en la placa, debido a que ocupa mucho espacio.
48. Para aumentar la seguridad del vehículo se puede implementar un sistema identificación por radio RFID de mejor calidad.
49. Se recomienda utilizar circuitos integrados de superficie, para cuando se necesite usar todos los puertos de entrada/salida de un microcontrolador debido a la complejidad de la placa de cobre que se tiene que soldar.

XIV. BIBLIOGRAFÍA

1. ABC Electrónica. (2012). *Sensor de Nivel para Tanques*. Obtenido de <http://www.abcelectronica.net/productos/sensores/humedad-nivel/>
2. ABC Electrónica. (2012). *Termocupla*. Obtenido de <http://www.abcelectronica.net/productos/sensores/termocupla/>
3. ABC Electrónica. (s.f.). *Imanes de Neodymium*. Obtenido de <http://www.abcelectronica.net/productos/imaness/>
4. Allegro Microsystems. (2012). *Sensitive Hall-Effect Switches*. Obtenido de <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/allegromicrosystems/3141.pdf>
5. Alley, C., & Atwood, K. (1990). *Biblioteca de Ingeniería Electrónica*. México DF: Editorial Limusa.
6. Alonzo, L. P. (2012). *DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO, Módulo de diseño del sistema de sensores y captación de energía solar*. Ciudad de Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
7. Arian Control & Instrumentación. (2012). *¿Qué son y cómo funcionan las Termocuplas?* Obtenido de <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
8. Balachandran, B., & Magrab, E. (2006). *Vibraciones*. México: Thomson International.
9. Bravo, E. E., Chacón, P. A., & Rivas, F. R. (2009). *Diseño, construcción e implementación de un sistema de amortiguadores magnetoreológicos para la suspensión de autos livianos con sistema de control automático*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
10. Buchman, I. (2012). *Battery Definitions*. Obtenido de http://batteryuniversity.com/learn/article/battery_definitions

11. Buchman, I. (2012). *Lead-based Batteries*. Obtenido de http://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries
12. Buchman, I. (s.f.). *Battery Definition*.
13. Budynas Richard, N. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8 ed.). México: McGraw-Hill.
14. Bullock, M. (2012). *How Relays Work*. Obtenido de <http://electronics.howstuffworks.com/relay1.htm>
15. C., C. (2003). *What's a tristate buffer*. Recuperado el 11 de 5 de 2012, de <http://www.cs.umd.edu/class/sum2003/cmsc311/Notes/CompOrg/tristate.html>
16. C.C. (2012). *What's a tristate buffer*. Obtenido de <http://www.cs.umd.edu/class/sum2003/cmsc311/Notes/CompOrg/tristate.html>
17. Campo Magnético. (2009). *Efecto Hall*. Obtenido de <http://cmagnetico.blogspot.com/2009/06/efecto-hall.html>
18. Canseco, M. (2004). *Sistema de propulsión de un vehículo híbrido eléctrico*. Obtenido de http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-elec/tesis_mc/159MC_macr.pdf
19. Castela, P. (2012). *El Relé*. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnologías Educativas: <http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>
20. Castillo, C. (2011). *INNOVA: Control no convencional e implementación de un prototipo de una silla de ruedas eléctrica a través de la electroencefalografía, Módulo de Potencia*. Ciudad de Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
21. Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico* (3 ed.). McGraw-Hill Interamericana.

22. ComoHacer. (2012). *Como hacer un indicador de nivel de agua*. Obtenido de <http://www.comohacer.eu/como-hacer-un-indicador-de-nivel-de-agua/>
23. Corporation, N. (2005). *Step-by-Step Grease Selection*. Recuperado el 2012, de Machinery Lubrication: <http://www.machinerylubrication.com/Read/798/grease-selection>
24. Corporation, N. (2006). *Machinery Lubrication*. Recuperado el 2012, de Precision Lubrication for Grease-lubricated Bearings: <http://www.machinerylubrication.com/Read/903/precision-lubrication-bearings>
25. Cortizo, J., Fernandez, J., Fernandez, R., Rodriguez, E., Sierra, J., & Vijande, R. (2003). *Elementos de Máquinas. Teoría y Problemas*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
26. Crowe, C., Elger, D., & Roberson, J. (2007). *Mecánica de Fluidos* (8 ed.). México: Grupo Editorial Patria.
27. Curtis PMC. (1999). *Model 1204/5 Motor Controllers Manual*. Estados Unidos de América: Curtis Instruments.
28. Dallas Semiconductor. (2012). *DS18B20 High Precision 1-Wire Digital Thermometer*. Obtenido de <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/DS18B20-DS1820S.pdf>
29. Duarte, E. (2012). *DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO, Módulo de computadora central*. Ciudad de Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
30. Dynamics, P. (2012). *Battery Basics*. Obtenido de http://www.progressivedyn.com/battery_basics.html
31. Ecopetrol, E. p. (2012). *Carta Petrolera*. Obtenido de <http://www.ecopetrol.com.co/categoria.aspx?catID=500>

32. Ediciones SBM. (2009). *Motor Eléctrico*. Obtenido de <http://manitaselectricidadfacil.blogspot.com/2009/05/motor-electrico.html>
33. Electrónica Integrada. (2008). *Medidor de Temperatura con Termopar*. Obtenido de <http://iindustrial.obolog.com/medidor-temperatura-termopar-86703>
34. Electrónica Unicrom. (2012). *El Fusible*. Obtenido de http://www.unicrom.com/Tut_fusible.asp
35. Electrónica Unicrom. (2012). *Transistor bipolar o BJT*. Obtenido de http://www.unicrom.com/Tut_transistor_bipolar.asp
36. Elektro-Art. (2012). *Como hacer un tacómetro digital casero*. Obtenido de <http://elektro-art.blogspot.com/2011/01/como-hacer-un-tacometro-digital-casero.html>
37. Fairchild Semiconductor. (2007). *TIP120/TIP121/TIP122 NPN Epitaxial Darlington Transistor Data Sheet*. Obtenido de <http://www.fairchildsemi.com/ds/TI/TIP120.pdf>
38. Fairchild Semiconductor. (2011). *2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 NPN General Purpose Amplifier Data Sheet*. Obtenido de <http://www.fairchildsemi.com/ds/MM/MMBT3904.pdf>
39. Ferre J., D. J. (2008). *Sistemas de transmisión y frenado*. España: Editorial Editex S.A.
40. ForosdeElectrónica. (2012). *Como elaborar un Comprobante de carga en Bateria de 36v 850 A/h*. Obtenido de <http://www.forosdeelectronica.com/f21/elaborar-comprobante-carga-bateria-36v-850-h-15475/>
41. Garage, E. (2012). *Graphics LCD*. Recuperado el 11 de 4 de 2012, de <http://www.engineersgarage.com/electronic-components/graphics-lcd>
42. Garber Nicholas, H. L. (2002). *Ingeniería de tránsito y carreteras* (3 ed.). (Thomson, Ed.) México.

43. Garmendia, M. Vehículo Comercial Híbrido Serie-Parelelo. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4130/1/memoria.pdf>
44. Gere, J., & Goodno, B. (2009). *Mecánica de Materiales* (7 ed.). México D.F.: Cengage Learning.
45. Gil.Toresan, P. J. (2003). *El relé*. Obtenido de <http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>
46. Giron, J. (2007). *Propuesta para un plan de mantenimiento para los vehículos repartidores de Gas Único S.A.* Ciudad de Guatemala: Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala.
47. Haideri, F. (2006). *Transmission System Design*. India: Nirali Prakashan.
48. Hope, C. (2012). *BCD*. Recuperado el 22 de 3 de 2012, de <http://www.computerhope.com/jargon/b/bcd.htm>
49. HP Industrial Perú. (2012). *Contactador Eléctrico Siemens*. Obtenido de http://hpindustrialperu.com/hp_industrial_por_marca.php?m=13
50. Institute for Telecommunication Sciences. (1996). *Duty Cycle "Telecommunications: Glossary of Telecommunication Terms"*. Obtenido de http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-013/_1849.htm
51. Institute, E. C. (2012). *Física-Electroimanes*. Obtenido de <http://www.eurocopper.org/cobre/electroimanes.html>
52. Javier. (2009). *¿Qué es un coche híbrido?* Obtenido de <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/que-es-un-coche-hibrido>
53. Jorge, H. (s.f.). *Sistemas de suspensión, amortiguación y dirección*. Recuperado el 7 de April de 2012, de <http://www.etp.uda.cl/areas/electromecanica/MODULOS%20%20TERCERO/SISTEMAS%20DE%20DIRECCI%C3%93N%20Y%20SUSPENSI%C3%93N/Gu%C3%ADa%20N%C2%BA%20%20Direcci%C3%B3n.pdf>

54. Keener, C. (2010). *How RFID works*. Recuperado el 22 de 5 de 2012, de <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/high-tech-gadgets/rfid.htm>
55. Luis, R. (2009). *Microcontroladores PIC*. Recuperado el 11 de 05 de 2012, de <http://r-luis.xbot.es/pic1/pic01.html>
56. Mendez, M. (2010). *¿Qué es un microcontrolador?* Obtenido de <http://toba.fceia.unr.edu.ar/mmendez/?p=48#more-48>
57. Microchip Technology. (2001). *PIC16f84A Data Sheet*. Obtenido de <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/35007b.pdf>
58. Microchip Technology. (2005). *Brushed DC Motor Fundamentals*. Obtenido de <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00905a.pdf>
59. Mikroe. (2000). *Microcontrolador PIC16F887*. Recuperado el 12 de 05 de 2012, de <http://www.mikroe.com/chapters/view/81/capitulo-3-microcontrolador-pic16f887/>
60. Mikroe. (2012). *ADC Library*. Obtenido de MikroC Pro for PIC Libraries: http://www.mikroe.com/download/eng/documents/compilers/mikroc/pro/pic/help/adc_library.htm
61. Mikroe. (2012). *One Wire Library*. Obtenido de http://www.mikroe.com/download/eng/documents/compilers/mikroc/pro/pic/help/onewire_library.htm
62. Mikroe. (2012). *RFID manual*. Obtenido de http://www.mikroe.com/downloads/get/1240/rfid_manual_v100.pdf
63. Mikroe. (2012). *RTC manual*. Obtenido de http://www.mikroe.com/downloads/get/1195/rtc2proto_manual_v100.pdf
64. Mikroe. (2012). *SD manual*. Obtenido de http://www.mikroe.com/downloads/get/1347/mmc_sd_manual_v100.pdf
65. Mikroe. (s.f.). *EsayPIC6 manual*. Obtenido de http://www.mikroe.com/pdf/easypic6/easypic6_manual_v100.pdf

66. Mikroelektronika. (2012). *Capítulo 3: Microcontrolador PIC16f887*. Obtenido de <http://www.mikroe.com/chapters/view/81/capitulo-3-microcontrolador-pic16f887/>
67. Ministerio de Energía y Minas Guatemala. (2012). *Precios Combustible Nacional*. Obtenido de <http://www.mem.gob.gt/viceministerio-de-mineria-e-hidrocarburos-2/direccion-general-de-hidrocarburos/estadisticas/precios-combustibles-nacional/>
68. National Programme on Technology Learning. (2012). *Power Semiconductor Devices*. Obtenido de [http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Power%20Electronics/PDF/L-7\(DK\)\(PE\)%20\(\(EE\)NPTEL\).pdf](http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT%20Kharagpur/Power%20Electronics/PDF/L-7(DK)(PE)%20((EE)NPTEL).pdf)
69. Nilsson, J., & Riedel, S. (2008). *Electric Circuits* (8 ed.). Estados Unidos de América: Pearson Hall.
70. Norton, R. L. (2009). *Diseño de Maquinaria*. México DF: McGraw-Hill Interamericana.
71. PCE Ibérica. (2012). *Tacómetro Digital*. Obtenido de <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-revolucion/tacometro-pce-dt100.htm>
72. Pino, J. (2012). *Tachometer /RPM II*. Obtenido de <http://www.josepino.com/?tachometer2>
73. Pontífica Universidad Católica de Chile. (2009). *Vehículos eléctricos híbridos (HEV)*. Obtenido de http://web.ing.puc.cl/~power/mercados/transporteelec/pagina_web_transporte_electrico_014.htm
74. Pulkrabek, W. (2011). *Engineering Fundamentals of Internal Combustion Engines* (2 ed.). New Deli: Pearson Educations.

75. Recinos, I. J. (2012). (D. Solano, Entrevistador) Universidad del Valle de Guatemala.
76. ReedSwitch Reliability RRE. (2012). *FAQ on Interruptor de láminas and Reed Sensors*. Obtenido de http://www.reed-sensor.com/Notes/General_Reed_Switch_Theory.htm
77. Robert, M. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (4 ed.). México: Pearson Educación .
78. Rossal, R. (2012). *DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO, Módulo de control de motores*. Ciudad de Guatemala: Univesidad de Guatemala.
79. Sapag, N. (2007). *Proyectos de inversión, Formulación y evaluación*. México DF: Pearson Educación de México.
80. Semiconductor, D. (s.f.). *DS1307 Datasheet*. Recuperado el 12 de 6 de 2012, de <http://www.sparkfun.com/datasheets/Components/DS1307.pdf>
81. Service, J. O. (2012). *Alternador*. Obtenido de <http://jufreoilservice.blogspot.com/2012/05/alternador.html>
82. Servivio Nacional de Aprendizaje. (2012). *Transistores IGBT*. Obtenido de <http://ccpot.galeon.com/enlaces1737117.html>
83. Serway, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería* (7 ed., Vol. 1). México D.F.: Cengage Learning.
84. SKF. (2012). *Bearing grease selection guide*. SKF.
85. Solano, D. (2012). *DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO, Módulo de transmisión de potencia: motor de combustión interna-generator eléctrico*. Ciudad de Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
86. Sparkun Electronics. (2012). *ACS712 Breakout*. Obtenido de <https://www.sparkfun.com/products/8882?>

87. Sparkun Electronics. (2012). *Light to Frequency Converter - TSL235R*.
Obtenido de <https://www.sparkfun.com/products/9768?>
88. Sparkun Electronics. (2012). *Load Sensor - 50kg*. Obtenido de
<https://www.sparkfun.com/products/10245?>
89. Sprocket, M. (2012). *Roller Chain Sprockets*. Recuperado el 2012, de
http://www.martinsprocket.com/pt_TOC.htm
90. Sprocket, M. (2012). *Sprocket Engineering Data*. Recuperado el 2012, de
http://www.martinsprocket.com/pt_TOC.htm
91. ST Microelectronics. (2010). *STGB35N35LZ STG35N35LZ Data Sheet*.
Obtenido de http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00101367.pdf
92. Tecnoface Electronica. (2008). *Indicador de Nivel de carga de una batería*. Obtenido de <http://tecnoface.com/alimentacion/10-indicador-de-nivel-de-carga-de-una-bateria>
93. Terra. (2012). *¿Cómo funciona un vehículo híbrido?* Obtenido de
<http://www.mikroe.com/chapters/view/81/capitulo-3-microcontrolador-pic16f887/>
94. The Toolbox Shop. (2012). *Albright SW60 Miniature DC Contactors*.
Obtenido de <http://www.thetoolboxshop.com/sw60-3-albright-24v-dc-single-acting-miniature-solenoid-contactor-intermittent-80a-6948-p.asp>
95. Tyson, J. (2009). *How LCD works*. Recuperado el 23 de 4 de 2012, de
<http://electronics.howstuffworks.com/lcd.htm>
96. unicrom. (s.f.). *ADC Convertidor Analógico Digital*. Recuperado el 2012,
de http://www.unicrom.com/Tut_ADC.asp
97. Universidad del Valle de Guatemala. (2011). *Circuito Acondicionador de Señal. Amplificadores Operacionales. Guía de Laboratorio No.12*. Ciudad de Guatemala: Departamento de Ingeniería Electrónica.

98. Urdiales, J., & Limón, R. (2009). *Vehículos híbridos: acoplamiento sinérgico de motor térmico y eléctrico*. Obtenido de <http://www.udg.edu/LinkClick.aspx?fileticket=rwBdBYO8gjY%3D&tabid=8702&language=ca-ES>
99. Urumotos. (2012). *Yumbo RoadPower 125 c.c. Manual de Taller*. Obtenido de <http://www.urumotos.com.uy/foro/downloads.php?do=cat&id=31>
100. Vilches, E. (2012). *El Contactor*. Obtenido de Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán: <http://www.upnfm.edu.hn/bibliod/images/stories/tindustrial/libros%20de%200electricidad/Controles%20Electromecanicos/elementos%20electromecanicos.pdf>
101. Wikipedia La Enciclopedia Libre. (2012). *Convertor analógico-digital*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Convertor_anal%C3%B3gico-digital
102. Wikipedia La Enciclopedia Libre. (2012). *Efecto Hall*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Hall
103. Wikipedia La Enciclopedia Libre. (2012). *Imán de neodimio*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Im%C3%A1n_de_neodimio
104. Wikipedia La Enciclopedia Libre. (2012). *Panel Fotovoltaico*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico
105. Wikipedia La Enciclopedia Libre. (2012). *Panel Solar*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_solar
106. Wikipedia La Enciclopedia Libre. (2012). *Radiación Solar*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_solar
107. Wikipedia La Enciclopedia Libre. (2012). *Sensor Capacitor*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_capacitivo

108. Wikipedia La Enciclopedia Libre. (2012). *Sensor de Efecto Hall*.
Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_de_efecto_Hall
109. Wikipedia La Enciclopedia Libre. (2012). *Termopar*. Obtenido de
<http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>
110. Wikipedia La Enciclopedia Libre. (2012). *Transistor de unión bipolar*.
Obtenido de
http://es.wikipedia.org/wiki/Transistor_de_uni%C3%B3n_bipolar
111. WindBluePower. (s.f.). *DC-512 Motor or Wind driven Permanent Magnet*.
Obtenido de
http://www.windbluepower.com/Permanent_Magnet_Alternator_Wind_Blue_Motor_Wind_p/dc-512.htm
112. YouTube. (2011). *Nivel de Agua*. Obtenido de NLabsRovera:
<http://www.youtube.com/watch?v=rD37m7TsAgA&feature=related>
113. Yunus, C. (2007). *Transferencia de calor y masa un enfoque práctico* (3 ed.). México: McGraw-Hill .

XV. ANEXOS

A. CÓDIGO FUENTE DEL MÓDULO DE CONTROL

```
/*
  Universidad del Valle de Guatemala
  Rodrigo Rossal, 07867
  Control de Motores
*/

int dato;
bit arrancho;
int arranques;
int count;
bit oldstate;
bit oldstatel;
bit oldstate2;
bit bandera;

void interrupt(void){
  if(INTCON.T0IF){ // timer 0 overflow ?
    INTCON.T0IF = 0 ; // done
  }
}

void arrancar() {
  dato = 0;
  PORTB.F6 = 0;
  PORTB.F5 = 1;
  Delay_ms(300);
  PORTB.F3 = 1;
  Delay_ms(1500);
  PORTB.F3 = 0;
  Delay_ms(500);
  arrancho = 1;
  arranques++;
}

void main() {

  OPTION_REG = 0x85 ; // start timer 0,
  prescaler 1:256
  INTCON = 0xE4 ; // allow timer 0
  overflow interrupt

  TRISA = 0x08; // set direction to be
  output
  TRISB = 0x95; // set direction to be
  output
}
```

```

PORTA = 0x00;
PORTB = 0x00;                                     // turn OFF the PORTD
leds

dato = 0b00000000;
oldstate = 0;
oldstate1 = 0;
oldstate2 = 0;
bandera = 0;
arranques = 0;
arranco = 1;

do{
    //Se implementa un sistema de seguridad para el motor, si se
    //se descactiva el controlador.
    if(PORTB.F0 && PORTB.F2 == 0)
        PORTB.F1 = 1;
    else
        PORTB.F1 = 0;

    //Vemos si hay que arrancar el motor de combusti3n interna
    if (Button(&PORTB, 4, 0, 0)) {                // Detect logical
one
        oldstate1 = 1;                            // Update flag
        }
        if (oldstate1 && Button(&PORTB, 4, 0, 1)) { // Detect one-to-
zero transition
        bandera = 1;
        PORTB.F5 = 1;
        oldstate1 = 0;                            // Update flag
        }

    //Tenemos 3 intentos de para arrancar el motor
    while(bandera){
        arrancar();
        //Observamos el sensor magnetico para ver si el motor de
        combustion interna
        //arranc3no
        for(count=0;count<10000;count++){
            if (Button(&PORTB, 7, 1, 1)) {        // Detect
logical one
                oldstate = 1;                    // Update flag
                }
                if (oldstate && Button(&PORTB, 7, 1, 0)) { // Detect one-
to-zero transition
                dato++;                            // Invert PORTC
                oldstate = 0;                    // Update flag
                }
                }
        //Si la variable dato sobrepasa el numero 7 quiere decir que
        el motor arranc3no
        if(dato > 5){
            bandera = 0;
            arranques = 0;
        }
    }
}

```

```

    //Si sobrepasamos la cantidad de arranques, salimos el loop e
indicamos que el motor no arrancó    if(arranques > 2){
    bandera = 0;
    arranques = 0;
    arrancho = 0;
    }
}

    //Si se desactiva la señal de encendido del motor de CI, procedemos a
apagarlo
    if(PORTB.F4 == 0){
    PORTB.F5 = 0;
    }
    //Si la bandera que indica que despues de tres intentos el motor
no arrancó //enviamos una señal a la computadora indicando que hubo
problema.
    if(arrancho == 0){
    PORTB.F6 = 1;
    }

    //Observamos el switch de reversa en caso que sea necesario
activarlo
    if (PORTB.F2 && Button(&PORTA, 3, 1, 1)) { //
Detect logical one
    oldstate2 = 1; // Update flag
    }
    //Solo podemos activar reversa si el freno está resionado
    if (PORTB.F2 && oldstate2 && Button(&PORTA, 3, 1, 0)) { //
Detect one-to-zero transition
    if(PORTA.F2)
    PORTA.F2 = 0;
    else
    PORTA.F2 = 1;
    oldstate2 = 0; // Update flag
    }

}while(1);
}

```

B. ANEXO DEL MÓDULO TRANSMISIÓN Y SUSPENSIÓN

Tabla 39: Propiedades mecánicas de algunos aceros

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS No.	SAE and/or AISI No.	Processing	Tensile Strength, MPa (kpsi)	Yield Strength, MPa (kpsi)	Elongation in 2 in, %	Reduction in Area, %	Brinell Hardness
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Figura 234: Sensibilidad de muesca en flexión

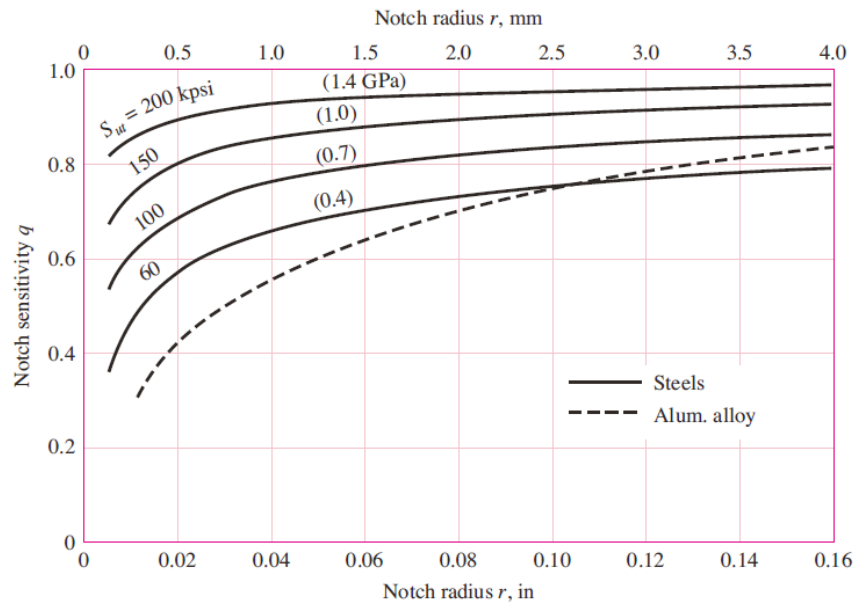


Figura 235: Sensibilidad de muesca en torsión

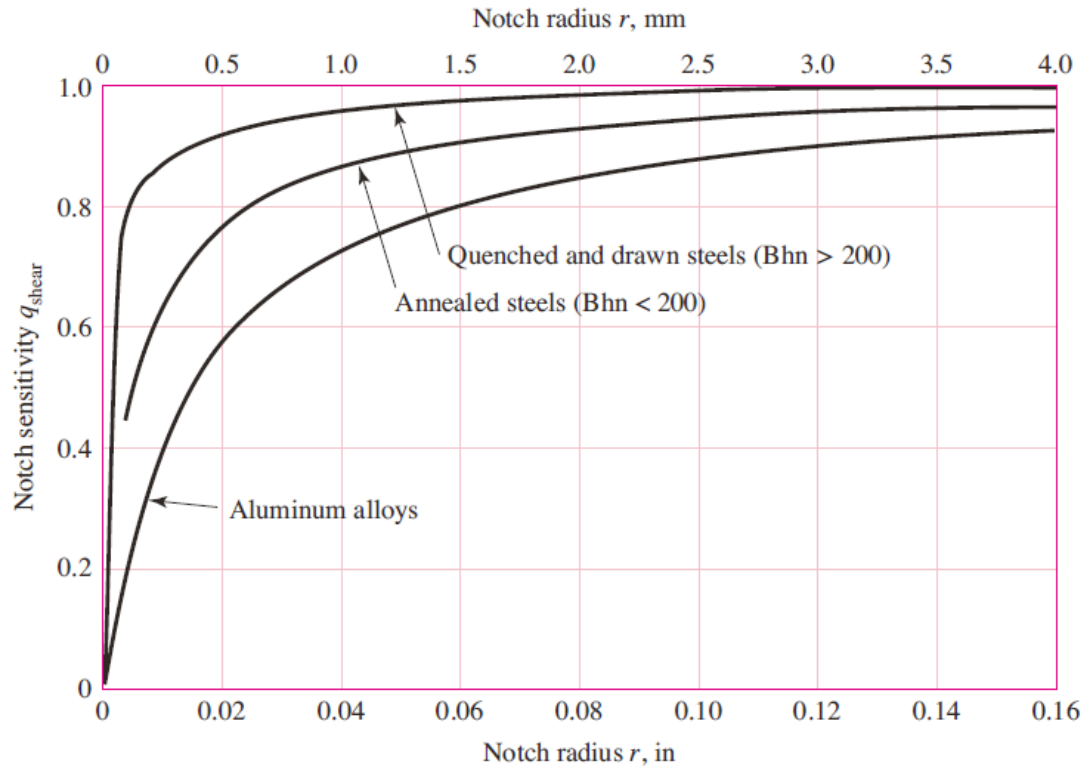


Figura 236: Factor de concentración de esfuerzo para torsión

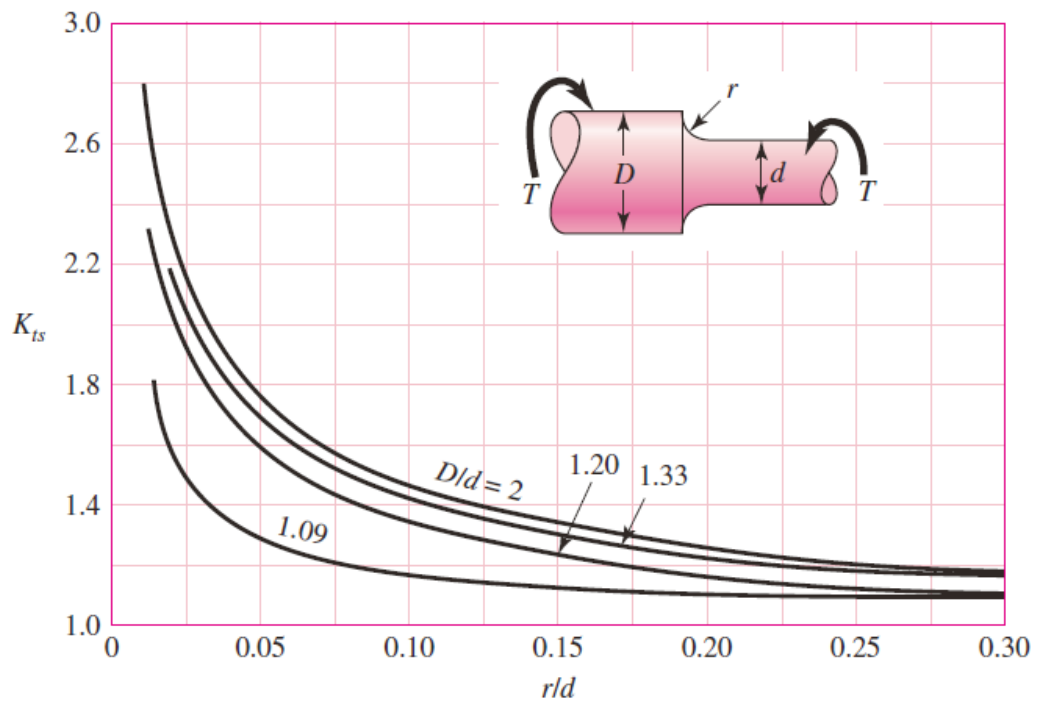


Figura 237: Factor de concentración de esfuerzo para flexión

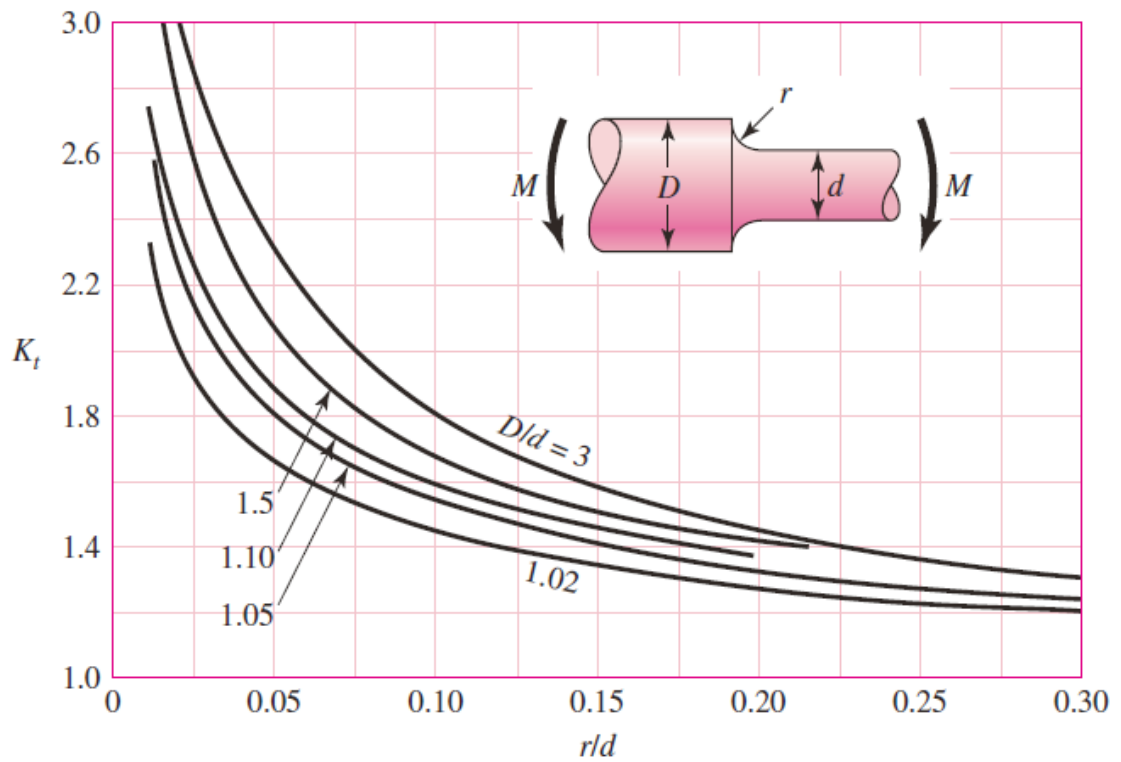


Tabla 40: Parámetros de acabado superficial

Surface Finish	Factor a		Exponent b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272.	-0.995

Tabla 41: Factores de confiabilidad

Mode of Loading	$k_c = \alpha \bar{S}_{ut}^{-\beta} \text{LN}(1, C)$				Average k_c
	kpsi	α MPa	β	C	
Bending	1	1	0	0	1
Axial	1.23	1.43	-0.0778	0.125	0.85
Torsion	0.328	0.258	0.125	0.125	0.59

Reliability, %	Transformation Variate z_α	Reliability Factor k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

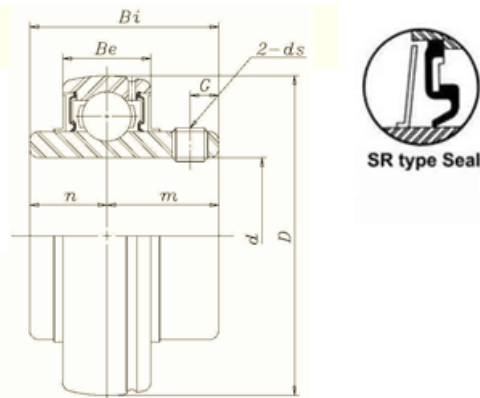
Tabla 42: Factores de temperatura

Temperature, °C	S_T/S_{RT}	Temperature, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

Tabla 43: Propiedades de los materiales del resorte

Material	Elastic Limit, Percent of S_{ut}		Diameter d , in	E		G	
	Tension	Torsion		Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Music wire A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
HD spring A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064-0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6
Oil tempered A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Valve spring A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Chrome-vanadium A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
	A232	88-93		29.5	203.4	11.2	77.2
Chrome-silicon A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Stainless steel							
A313*	65-75	45-55		28	193	10	69.0
17-7PH	75-80	55-60		29.5	208.4	11	75.8
414	65-70	42-55		29	200	11.2	77.2
420	65-75	45-55		29	200	11.2	77.2
431	72-76	50-55		30	206	11.5	79.3
Phosphor-bronze B159	75-80	45-50		15	103.4	6	41.4
Beryllium-copper B197	70	50		17	117.2	6.5	44.8
	75	50-55		19	131	7.3	50.3
Inconel alloy X-750	65-70	40-45		31	213.7	11.2	77.2

Figura 238: Características del rodamiento instalado



UC207-23 Dimensions

Unit	Shaft Dia	Dimensions							Dynamic Load Rating (Lbs)	Static Load Rating (Lbs)
		d	D	Bi	Be	n	m	G		
in.	1-7/16	2.8346	1.6890	0.7874	0.6890	1	0.2559	5/16-24 unf	5660	3390
(mm)		72	42.9	20	17.5	25.4	6.5	M8 x 1.0		

Figura 239: Parámetros de operación de rodamientos



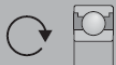

Bearing operating parameters			
Temperature 		Load 	
M = Medium	-30 to 110 °C/-22 to 230 °F	VH = Very high	C/P < 2
H = High	-20 to 130 °C/-4 to 266 °F	H = High	C/P = 2-5
L = Low	-50 to 80 °C/-58 to 176 °F	M = Medium	C/P = 5-10
		L = Low	C/P > 10
Speed for ball bearings 		Speed for roller bearings 	
EH = Extremely High	n.dm over 700.000	H = High	n.dm over 150.000
VH = Very High	n.dm up to 700.000	M = Medium	n.dm up to 150.000
H = High	n.dm up to 500.000	L = Low	n.dm up to 75.000
M = Medium	n.dm up to 300.000	VL = Very Low	n.dm below 30.000

Figura 240: Grasas recomendadas en función de condiciones de operación




Bearing working conditions				Grease recommended
			Main additional properties	
M	M	M	General purpose for small/medium-sized bearings	LGMT 2
M	M	M	General purpose for larger bearings (or high ambient temp.)	LGMT 3
M	M	M	Food compatible	LGFP 2
M	M	M+H	Biodegradable, low toxicity, EP/anti-wear	LGGB 2
M	L	H	EP/anti-wear, good corrosion inhibition	LGEP 2
M	L	H	EP/anti-wear, good low temperature performance, anti-brinelling	LGWM 1
M	L	H	EP/anti-wear, severe vibrations, anti-brinelling, water resistance	LGHB 2
M	VL	VH	Excellent EP/anti-wear (solid additives), high viscosity	LGEM 2

Figura 241: Frecuencia de lubricación de rodamientos

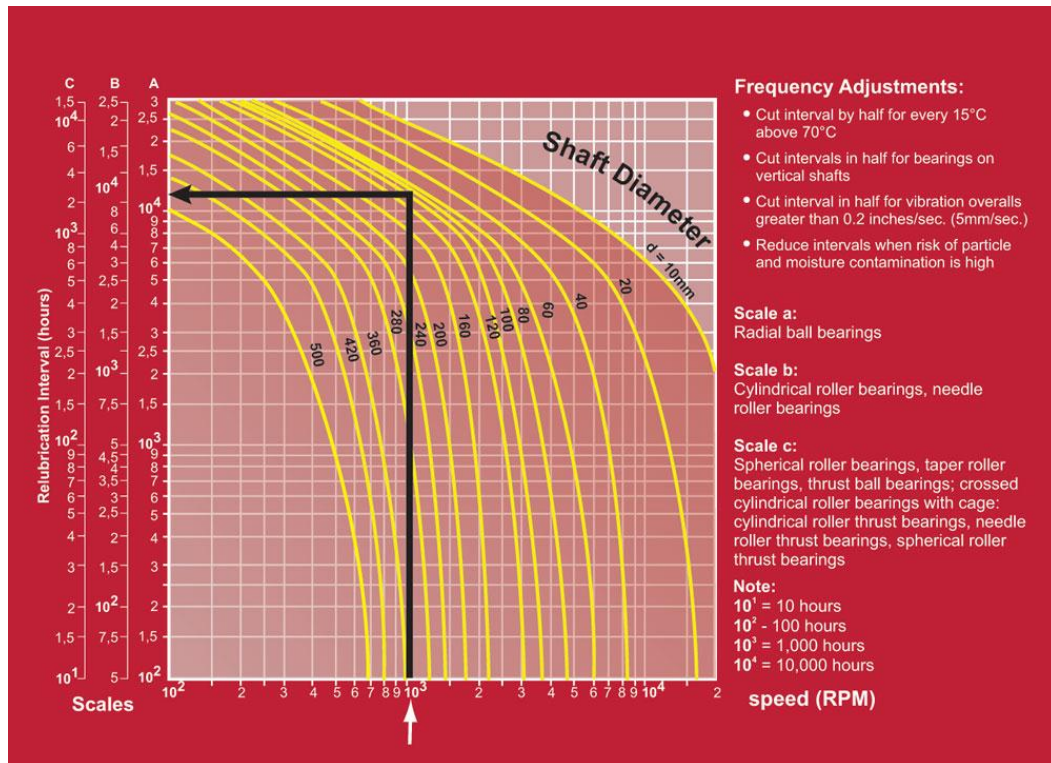


Tabla 44: Dimensiones de cuñas recomendadas

Shaft Diameter		Key Size		
Over	To (Incl.)	w	h	Keyway Depth
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
		$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$
		$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

C. ANEXOS DEL MÓDULO DE FRENO Y DIRECCIÓN

A. Cálculo de torque y freno de disco



TORQUE A FRENAR

Cálculo para el torque que debe ser detenido con los frenos

de disco. Tiempo para desacelerar de 40 a 0 km/h:

Distancia esperada para detener el vehículo

$$\text{dist} := 18 \quad \text{m}$$

Esta distancia se estimó en base a pruebas con vehículos de uso convencional, determinando la distancia a la que se detiene el auto con una desaceleración leve y en base a ello se determinó un valor para el prototipo.

Velocidad que se desea detener

$$v := \frac{40}{3.6} = 11.111 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se espera que el auto llegue a una velocidad aproximada de 30 km/h pero se trabajará con 40 km/h para tener un margen adicional.

Velocidad a la que se detendrá

$$v_f := 0 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Desaceleración cómoda

$$a := -\frac{v^2}{2 \cdot \text{dist}} = -3.429 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Según la AASHTO [American Association of State High way and Transportation] un valor de desaceleración cómodo para un conductor es de 3.41 m/s²; mientras que para una frenada de emergencia se obtiene a valores más altos de 4.51 m/s² e inclusive mayores.

Tiempo para frenar calculado según los valores indicados con anterioridad

$$t := -\frac{v}{a} = 3.24 \quad \text{s}$$

Ahora, con los siguientes datos conocidos:

Masa de las llantas traseras

$$m_1 := \frac{20}{2.20} = 9.091 \quad \text{kg}$$

Masa de las llantas delanteras

$$m2 := \frac{10}{2.25} = 4.545 \text{ kg}$$

Masa del auto sin las llantas

$$M := 400 - 2 \cdot m1 - 2m2 = 372.727 \text{ kg}$$

Masa total del auto

$$M_{\text{tot}} := 400 \text{ kg}$$

Radio de las llantas

$$r1 := 0.22: \text{ m } \text{ traseras}$$

$$r2 := 0.17: \text{ m } \text{ delanteras}$$

Los datos anteriores se obtuvieron mediante mediciones realizadas en el vehículo.

Inercia de las llantas traseras

$$J1 := 2m1 \cdot r1^2 = 0.92 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Inercia de las llantas delanteras

$$J2 := 2m2 \cdot r2^2 = 0.278 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Con el análisis de fuerzas para las llantas y el auto, como se observa en la Figura de Diagrama de fuerzas en el vehículo. Sabiendo que cada Fuerza, F , debe contrarrestarse con una opuesta:

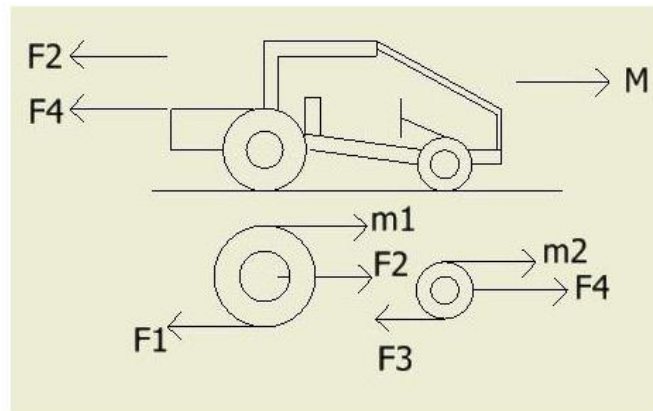


Diagrama de fuerzas

Entonces se obtiene lo siguiente:

$$F_2 - F_1 = 2 \cdot m_1 \cdot a$$

$$F_4 - F_3 = 2 \cdot m_2 \cdot a$$

$$-F_2 - F_4 = M \cdot a$$

Sumando las tres ecuaciones se obtiene:

$$F_1 = -F_3 - (2 \cdot m_1 \cdot a + 2 \cdot m_2 \cdot a + M \cdot a)$$

Ahora haciendo un análisis para las llantas traseras involucrando el torque a encontrar y el τ_{suelo} que es el torque que el suelo hace sobre la llanta trasera, se tiene

$$\tau + \tau_{\text{suelo}1} = \tau + F_1 \cdot r_1 = I_1 \cdot \frac{a}{r_1}$$

Se hace el mismo procedimiento para las llantas delanteras

$$\tau + \tau_{\text{suelo}2} = \tau + F_3 \cdot r_2 = I_2 \cdot \frac{a}{r_2}$$

Entonces despejando para F_3 y F_1 , y luego relacionando las ecuaciones:

$$\tau_{t1} := \left[\frac{-\tau + I_1 \cdot \frac{a}{r_1}}{r_1} = - \left(\frac{-\tau + I_2 \cdot \frac{a}{r_2}}{r_2} \right) - (2 \cdot m_1 \cdot a + 2 \cdot m_2 \cdot a + M \cdot a) \text{ solve, } \tau \rightarrow \right]$$

$$\tau_{t1} := \tau_{t0} = -144.238$$

Resolviendo para el torque, τ que es para un par de llantas, se obtiene el torque que necesitan hacer los frenos para detener el vehículo con pendiente cero, denominado como τ_1 :

$$\tau_1 := -1 \cdot \tau_{t1} = 144.238 \text{ N}\cdot\text{m}$$

En total para las otras 2 llantas restantes:

$$\tau := 2 \cdot \tau_1 = 288.475 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Por tanto, el torque en cada llanta es:

$$\tau_t := \frac{\tau}{4} = 72.119 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Debido a que el auto se probará en uno de los parqueos de la Universidad del Valle de Guatemala el ubicado cerca del colegio Americano se observa que se tienen tramos con inclinación leve y por ello se decide trabajar con una pendiente de 15%, seleccionada luego de inspeccionar el terreno.

Entonces ahora se debe frenar un torque en inclinación, θ_b .

De este modo, con la pendiente, se tiene un ángulo de:

$$\theta_p := \text{atan}(0.15) \cdot \frac{180}{\pi} = 8.531$$

Tiempo para desacelerar de 40 a 0 km/h en la pendiente:

Se trabaja con los valores mostrados con anterioridad, para el plano sin inclinación

Distancia deseada para detener el vehículo

$$\text{dist} := 18 \quad \text{m}$$

Velocidad que se debe detener

$$v := \frac{40}{3.6} = 11.111 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Velocidad a la que se llegará

$$v_f := 0 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Desaceleración comoda

$$a := -\frac{v^2}{2 \cdot \text{dist}} = -3.429 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Tiempo para frenar

$$t := -\frac{v}{a} = 3.24 \quad \text{s}$$

Se trabaja con un análisis similar al mostrado con anterioridad con la variante de agregar la componente del peso de las llantas y el auto. Esto a como se observa en la Figura Diagrama de fuerzas con pendiente.

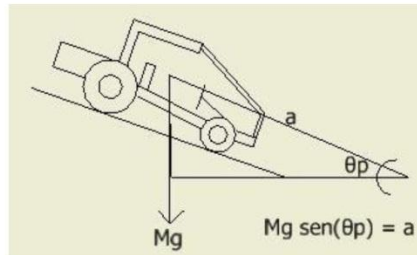


Diagrama de fuerzas con pendiente

Entonces, con la componente horizontal del peso se tiene el torque τ_b , conociendo que la gravedad es:

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Con el análisis de fuerzas para las llantas y el auto con sus pesos, se obtiene:

$$F_2 - F_1 + m_1 \cdot g \cdot \sin(\theta_p) = 2 \cdot m_1 \cdot a$$

$$F_4 - F_3 + m_2 \cdot g \cdot \sin(\theta_p) = 2 \cdot m_2 \cdot a$$

$$-F_2 - F_4 + M \cdot g \cdot \sin(\theta_p) = M \cdot a$$

Sumando las tres ecuaciones se obtiene:

$$F_1 = -(M \cdot a + 2 \cdot a \cdot m_1 + 2 \cdot a \cdot m_2) + g \cdot m_1 \cdot \sin(\theta_p) + g \cdot m_2 \cdot \sin(\theta_p) + M \cdot g \cdot \sin(\theta_p) - F_3$$

Ahora analizando las llantas traseras

$$\tau + \tau_{\text{suelo}} = \tau + F_1 \cdot r_1 = I_1 \cdot \frac{a}{r_1}$$

Seguido observando las fuerzas en las delanteras

$$\tau + \tau_{\text{suelo}} = \tau + F_3 \cdot r_2 = I_2 \cdot \frac{a}{r_2}$$

Entonces despejando para F_3 y F_1 , luego sustituyendo y despejando para el torque τ_b :

$$\tau_b := \left[\left(\frac{-\tau_b + I_1 \cdot \frac{a}{r_1}}{r_1} \right) = -(M \cdot a + 2 \cdot a \cdot m_1 + 2 \cdot a \cdot m_2) + g \cdot m_1 \cdot \sin(\theta_p) + g \cdot m_2 \cdot \sin(\theta_p) + M \cdot g \cdot \sin(\theta_p) - \left(\frac{-\tau_b + I_2 \cdot \frac{a}{r_2}}{r_2} \right) \text{ solve, } \tau_b \rightarrow \right]$$

$$\tau_{b1} := \tau_{b0} = -435.103 \quad \text{N}\cdot\text{m}$$

$$\tau_b := -1 \cdot \tau_{b1} = 435.103 \quad \text{N}\cdot\text{m}$$

Siendo éste el torque, τ_b , que necesitan hacer los frenos para detener el bus con pendiente por cada par de llantas.

Por tanto, para las otras dos llantas se tiene:

$$\tau_D := 2 \cdot \tau_b = 870.207 \quad \text{N}\cdot\text{m}$$

Siendo éste el torque que se utilizará para realizar los cálculos de los frenos de disco.

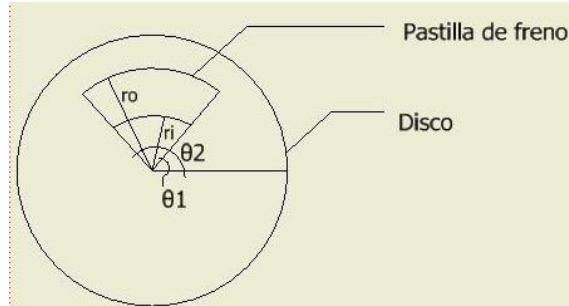
☑ FRENOS DE DISCO

Cálculo de frenos de disco

Luego de varias pruebas, se determinó un diámetro para el disco de 24 centímetros, siendo éste un valor adecuado para evitar fuerzas elevadas en el pedal de accionamiento y a la vez ser un tamaño disponible en el mercado.

Se trabaja con pastillas de 7 centímetros de largo y 3 centímetros de ancho.

Para realizar las operaciones matemáticas para los frenos, se empleó la Figura Distancias para disco y pastilla.



Distancias para disco y pastilla

Entonces se tienen los siguientes valores:

Radio externo del disco r_o

$$r_o := \frac{0.24}{2} \text{ m}$$

Radio interno del disco r_i

$$r_i := \frac{0.205}{2} \text{ m}$$

Radio medio r_m , en el que actúa la fuerza de frenado

$$r_m := \frac{r_o + r_i}{2} = 0.111 \text{ m}$$

Primer ángulo de la pastilla, θ_1

$$\theta_1 := 80^\circ$$

Segundo ángulo para la pastilla, θ_2

$$\theta_2 := 100^\circ$$

Diferencia de ángulos de posición de la pastilla, θ

$$\theta := \frac{(\theta_2 - \theta_1) \cdot \pi}{180} = 0.349 \text{ rad}$$

Coefficiente de fricción de las pastillas μ , por ser de asbesto se tiene un coeficiente de fricción mayor que si se trabaja con una fricción semimetálica. Por tanto, se obtiene una mejor respuesta al frenado y menor ruido, aunque por ser más blandas, su vida útil es menor que otras.

$$\mu := 0.35$$

Ahora, se tiene la fuerza de accionamiento, F como:

$$F = \theta \cdot p \cdot \int_{r_i}^{r_o} r \, dr$$

El par de torsión de fricción, T :

$$T = \theta \cdot \mu \cdot p \cdot \int_{r_i}^{r_o} r^2 \, dr = \mu \cdot F \cdot r$$

Entonces se desea conocer la presión que se debe efectuar sobre los émbolos de las mordazas para poder contrarrestar el efecto del torque total.

Para el torque más crítico que es al momento de ir en bajada, siendo el caso de τ_p , se calcula el torque para frenar, T :

$$T_w := \frac{\tau_p}{2} = 435.103 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Éste es el torque que deben generar los frenos, en sentido opuesto al movimiento, para que el vehículo pueda detenerse. En caso el torque de freno fuese menor al torque en bajada, el auto seguiría en movimiento pero a menor velocidad.

Cave mencionar que T está dividido entre 2 puesto que τ_p se distribuye en los dos discos que se colocaron en el eje posterior.

Ahora, se tienen dos pastillas dentro de las mordazas, por lo que serán 2 superficies efectivas para detener el disco y por tanto T se vuelve:

$$T = \mu \cdot F \cdot r_m \cdot 2$$

- Resolviendo para la fuerza F

$$F_w := \frac{T}{\mu \cdot r_m \cdot 2} = 5.587 \times 10^3 \text{ N}$$

* Equivalente en libras

$$F_{lbs} := \frac{F}{4.4497} = 1.256 \times 10^3 \text{ lbs}$$

[Realizandolo por medio de asumir un desgaste uniforme, según el libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

Máxima presión normal, Paa

$$P_{aa} := \frac{2 \cdot \left(\frac{T}{2}\right)}{\theta \cdot \mu \cdot r_i \cdot (r_o^2 - r_i^2)} = 8.923 \times 10^6 \quad \text{Pa}$$

Fuerza de accionamiento, FF

$$FF := \theta \cdot P_{aa} \cdot r_i \cdot (r_o - r_i) = 5.587 \times 10^3 \quad \text{N}$$

* Fuerza de accionamiento en libras, FFlbs

$$FF_{lbs} := \frac{FF}{4.4497} = 1.256 \times 10^3 \quad \text{Lbs} \quad]$$

- Debido a que en cada pastilla hay dos émbolo, la fuerza se distribuye, entonces:

$$F_e := \frac{F}{2} = 2.794 \times 10^3 \quad \text{N}$$

Conociendo el diámetro de los émbolos, de, ubicados en las mordazas, los encargados de ejercer la presión sobre las pastillas:

$$d_e := 0.02 \quad \text{m}$$

- Se puede calcular la presión en cada émbolo, Pe, utilizando su área A

$$A := \frac{\pi}{4} \cdot d_e^2 = 7.069 \times 10^{-4} \quad \text{m}^2$$

$$P_e := \frac{F_e}{A} = 3.952 \times 10^6 \quad \text{Pa}$$

* Equivalente en psi

$$P_{ep} := P_e \cdot \frac{1}{6894.757} = 573.209 \quad \text{Psi}$$

Para el análisis hidráulico se trabaja en base a la ley de Pascal para fluidos no compresibles como es el caso del refrigerante DOT 3, el empleado en el sistema. Además, se hace uso de la Figura diagrama de sistema hidráulico, en donde se pueden observar los componentes que fueron tomados en cuenta para llegar a conocer la fuerza a realizar en el pedal.

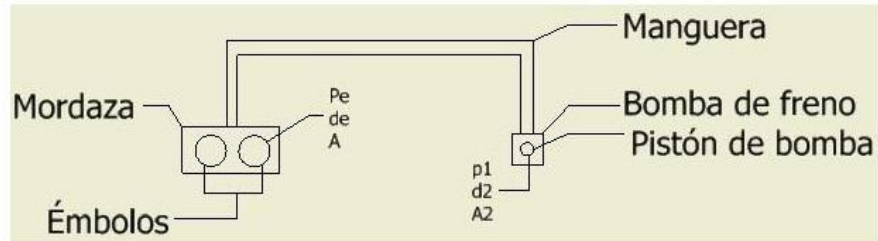


Diagrama de sistema hidráulico

Entonces, en base a la presión obtenida en los émbolos, se procede a obtener la que actúa en el cilindro cercano al pedal de acción. Entonces:

- La presión en la bomba, p_1 es decir la que se distribuye en el pistón es:

$$p_1 := P_e = 3.952 \times 10^6 \text{ Pa}$$

- Lo anterior a causa de $p_1 = P_e$ según la Ley de Pascal. Entonces para el émbolo cercano al pedal se tiene una fuerza de accionamiento, F_2

$$F_2 = p_1 \cdot A_2$$

- Con una bomba de freno que posee un pistón que empuja el líquido de frenos a las mangueras y el cual tiene un diámetro, d_2 , de:

$$d_2 := 0.015 \text{ m}$$

Con lo que se puede conocer el área de éste, A_2 , y es:

$$A_2 := \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 = 1.767 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

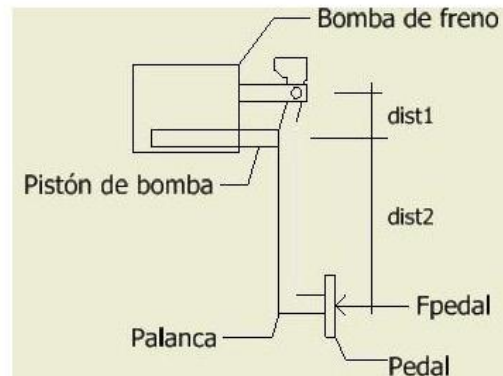
Por lo tanto la fuerza, F_2 , para activar el pistón de la bomba es:

$$F_2 := p_1 \cdot A_2 = 698.4 \text{ N}$$

* Equivalente en libras

$$F_{2\text{libras}} := \frac{F_2}{4.4497} = 156.95 \text{ lbs}$$

Según el valor obtenido, se observa que es una fuerza elevada para que un conductor pueda realizarla. Entonces se procede a hacer uso de una palanca mecánica. Para esto, se hace utilización de la Figura Palanca de freno.



Palanca de frenos

Entonces con las distancias

$$\text{dist1} := 0.05 \text{ m} \quad \text{dist2} := 0.55 \text{ m}$$

Y con una sumatoria de momentos en el pivote (o), se obtiene la fuerza en el pedal, Fpedal

$$\sum M_o = 0$$

$$F2 \cdot \text{dist1} + F_{\text{pedal}} \cdot \text{dist2} = 0$$

$$F_{\text{pedal}} := \frac{F2 \cdot \text{dist1}}{\text{dist2}} = 63.491 \text{ N}$$

*Fuerza en el pedal Equivalente en libras

$$F_{\text{pedal}} \text{ lbs} := \frac{F_{\text{pedal}}}{4.4497} = 14.269 \text{ lbs}$$

Observando que la fuerza necesaria para activar el freno se reduce drásticamente gracias a la adición de una palanca de accionamiento. De este modo, se determina que es un valor dentro del rango esperado y es una cantidad que puede efectuar un conductor sin mayor esfuerzo.

ESPESOR DEL DISCO

Determinar el espesor del disco al analizar los esfuerzos presentes en éste.

Para evitar que el disco sufra una ruptura, debe soportar un esfuerzo de compresión, σ_d como:

$$\sigma_d = \frac{F}{A_s}$$

Los discos regularmente están hechos de hierro fundido que tiene un esfuerzo último σ de aproximadamente:

$$\sigma := 870 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

El área, A_s , donde se aplica la fuerza es el área de la pastilla, que es la ocupada entre los ángulos θ_1 y θ_2 previamente definidos por 80 y 105 grados respectivamente:

$$A_s := \frac{\pi}{4} \cdot [(2 \cdot r_o)^2 - (2 \cdot r_i)^2] \cdot \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{360} = 6.796 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Fuerza aplicada por las pastillas, F al momento de frenar

$$F = 3.34 \times 10^3 \text{ N}$$

Obteniendo el resultado para el esfuerzo aplicado al disco, σ_d :

$$\sigma_d := \frac{F}{A_s} = 4.915 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Entonces se observa que el disco de hierro fundido soporta la fuerza aplicada debido a que σ_d es menor a σ .

Ahora para conocer el espesor del disco

Se tiene un módulo de elasticidad, E , para el hierro fundido de aproximadamente:

$$E := 127 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Entonces la deformación unitaria axial, ϵ , es:

$$\epsilon := \frac{\sigma_d}{E} = 0.039 \quad \text{Acortándose, puesto que es por aplastamiento}$$

Tomando un valor de espesor, e , de un disco conocido se obtiene el valor para el cambio de longitud, δ .

$$e := 0.004 \text{ m} \quad \text{Usando disco convencional para motocicleta de 4 mm}$$

$$\delta := \epsilon \cdot e = 1.548 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$\delta_{\text{mm}} := \delta \cdot 1000 = 0.155 \text{ mm}$$

Con lo anterior se observa que con un disco de 4 mm de espesor se puede trabajar ya que la deformación provocada es mínima, de 0.155 mm, que equivale a un 3.9% para el caso de aplicar toda la fuerza que puede generar las pastillas sobre el disco.

ESPESOR DEL DISCO

ESPEJOR DEL DISCO
 TRANSFERENCIA DE CALOR

Energía disipada por cada disco

El peso del auto, M_{tot} , mencionado anteriormente de 400 kg, se distribuye en las cuatro llantas.

$$W := \frac{1}{4}(M_{tot}) = 100 \text{ kg}$$

velocidad a la que se encuentra el vehículo antes de frenar, 40 km/h, pasado a m/s:

$$V_o := v = 11.111 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

velocidad final a la que se llegará luego de frenar

$$V_f := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Entonces la energía cinética, E_c presente es:

$$E_c := \frac{W}{2}(V_o^2 - V_f^2) = 6.173 \times 10^3 \text{ J}$$

La energía potencial, E_p cuando el auto baja la pendiente de 15 % y se espera lo haga frenando en una distancia de 18 metros:

$$h := 18 \cdot \sin(\theta_p) = 14.033 \text{ m}$$

$$E_p := W \cdot g \cdot (h) = 1.377 \times 10^4 \text{ J}$$

Energía rotacional para llantas traseras, E_{r1} con la velocidad angular ω_1 de las llantas:

$$\omega_1 := \frac{v}{r_1} = 65.359 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$E_{r1} := \frac{1}{2} \cdot I_1 \cdot \omega_1^2 = 1.122 \times 10^3 \text{ J}$$

Energía rotacional para llantas delanteras, E_{r2} con la velocidad angular ω_2 de las llantas::

$$\omega_2 := \frac{v}{r_2} = 123.457 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$E_{r2} := \frac{1}{2} \cdot I_2 \cdot \omega_2^2 = 561.167 \text{ J}$$

Entonces la suma de todas las energías presente se convierte en la energía total del auto, E_t

$$E_t := E_c + E_p + E_{r1} + E_{r2} = 2.162 \times 10^4 \text{ J}$$

Transferencia de calor en un tiempo de aplicación del freno, $t = 3.24$ segundos:

$$Q := \frac{Et}{t} = 6.674 \times 10^3 \text{ Watt}$$

Éste es el flujo de calor obtenido al aplicar el freno

Ahora, para conocer la temperatura superficial del disco, t_s

Con la temperatura del ambiente, t_o

$$t_o := 25 \text{ Celsius}$$

El área del disco, A_s en donde se encuentra la pastilla y es el área para frenar, es decir en el radio externo menos el interno

$$A_s := \frac{\pi}{4} \cdot [(2 \cdot r_o)^2 - (2 \cdot r_i)^2] = 0.012 \text{ m}^2$$

Con el espesor, E según el análisis de esfuerzos y además el valor comúnmente brindado por fabricantes de frenos de disco de motocicletas

$$E := 0.004 \text{ m}$$

Se obtiene el volumen del disco, vol

$$vol := A_s \cdot E = 4.893 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Con un disco de hierro fundido, por ser el material normalmente empleado en los discos gracias a su resistencia a esfuerzos de compresión y no ser quebradizo; se tiene una densidad de:

$$\rho := 7250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Por tanto, la masa del disco, m es:

$$m := vol \cdot \rho = 0.355 \text{ kg}$$

Con el calor específico del hierro fundido

$$c_p := 450 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{C}}$$

Entonces la temperatura superficial del disco, t_s luego de frenar es:

$$t_s := \frac{Et}{m \cdot c_p} + t_o = 160.449 \text{ Celsius}$$

Observando que es un valor aceptable en el disco pero debe mencionarse que el análisis es una aproximación a la realidad debido a que en este modelo se asume que el disco iniciará la disipación de calor hasta finalizar el frenado. En la realidad, el disco está en constante enfriamiento y únicamente el área en contacto con las pastillas está generando calor. Por tanto, un análisis de elementos finitos, más exacto por considerar refrigeración continua pero más extenso y complicado, pero podría otorgar un valor más cercano y con certeza se obtendría un resultado menor gracias al constante enfriamiento.

B. Cálculo de torque y freno de banda

☑ TORQUE A FRENAR [desde el reposo en una bajada]

Se calculará el torque que se debe detener en caso que se desee dejar el auto parqueado en una bajada con pendiente del 15%. Entonces

Asumiendo que se obtiene una velocidad que es la encargada de romper el reposo y la causante de hacer que el vehículo se mueva si no tiene colocado el freno. Entonces se puede decir que se tiene presente una desaceleración mínima proponiendo el siguiente valor cercano a cero.

$$a := -0.03 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Con los siguientes datos conocidos:

Masa de las llantas traseras

$$m1 := \frac{20}{2.20} = 9.091 \text{ kg}$$

Masa de las llantas delanteras

$$m2 := \frac{10}{2.20} = 4.545 \text{ kg}$$

Masa del auto sin las llantas

$$M := 400 - 2 \cdot m1 - 2m2 = 372.727 \text{ kg}$$

Masa total del auto

$$M_{\text{tot}} := 400 \text{ kg}$$

Radio de las llantas

$$r1 = 0.225 \text{ m} \text{ traseras}$$

$$r2 = 0.175 \text{ m} \text{ delanteras}$$

Inercia de las llantas traseras

$$I1 := m1 \cdot r1^2 = 0.46 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Inercia de las llantas delanteras

$$I2 := m2 \cdot r2^2 = 0.139 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Con un ángulo de pendiente de:

$$\theta_p := \text{atan}(0.15) \cdot \frac{180}{\pi} = 8.531$$

Obteniendo la componente horizontal del peso se obtiene el torque t_b , siendo la gravedad de:

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

s

Con el análisis de fuerzas para las llantas y el auto con sus pesos, se obtiene:

$$F2 - F1 + m1 \cdot g \cdot \sin(\theta p) = 2 \cdot m1 \cdot a$$

$$F4 - F3 + m2 \cdot g \cdot \sin(\theta p) = 2 \cdot m2 \cdot a$$

$$-F2 - F4 + M \cdot g \cdot \sin(\theta p) = M \cdot a$$

Sumando las tres ecuaciones se obtiene:

$$F1 = -(M \cdot a + 2 \cdot a \cdot m1 + 2 \cdot a \cdot m2) + g \cdot m1 \cdot \sin(\theta p) + g \cdot m2 \cdot \sin(\theta p) + M \cdot g \cdot \sin(\theta p) - F3$$

Ahora relacionando un análisis para las llantas traseras

$$\tau + \tau_{\text{suelo}} = \tau + F1 \cdot r1 = I1 \cdot \frac{a}{r1}$$

Ahora relacionando el mismo estudio de fuerzas para las llantas delanteras

$$\tau + \tau_{\text{suelo}} = \tau + F3 \cdot r2 = I2 \cdot \frac{a}{r2}$$

Entonces despejando para F3 y F1, luego sustituyendo y despejando para el torque τ_b :

$$\tau_{bb} = \left[\left(\frac{-\tau_b + I1 \cdot \frac{a}{r1}}{r1} \right) = -(M \cdot a + 2 \cdot a \cdot m1 + 2 \cdot a \cdot m2) + g \cdot m1 \cdot \sin(\theta p) + g \cdot m2 \cdot \sin(\theta p) + M \cdot g \cdot \sin(\theta p) - \left(\frac{-\tau_b + I2 \cdot \frac{a}{r2}}{r2} \right) \text{ solve, } \tau_b \rightarrow \right]$$

$$\tau_{bb1} = \tau_{bb0} = -292.087 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Resolviendo para el torque, τ_b , por cada par de llantas, que necesitan hacer los frenos para detener el bus con pendiente:

$$\tau_b = -1 \cdot \tau_{bb1} = 292.087 \text{ N} \cdot \text{m}$$

En total para todas las llantas:

$$\tau_{b\text{mano}} := 2 \cdot \tau_b = 584.174 \text{ N} \cdot \text{m}$$

 TORQUE A FRENAR [desde el reposo en una bajada]

☐ FRENO DE MANO

Para el freno de mano se empleará un mecanismo de detención de banda. Éste consiste en una zapata o banda que rodea a un tambor central, colocándose en fricción cuando un cable tensor o varilla tira de uno de los extremos del freno y lo junta con el tambor. Entonces para los cálculos se tomó el freno que posee el vehículo y se adaptó, por lo que las medidas fueron obtenidas en el taller con instrumentos de medición.

El radio del tambor, r_b , es de:

$$r_b := 0.05 \text{ m}$$

El ancho del tambor, w_b , es:

$$w_b := 0.04 \text{ m}$$

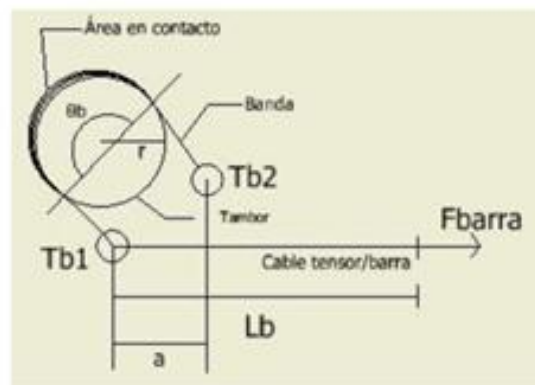
Ángulo, θ_b en radianes, con el que se encuentra en contacto la banda:

$$\theta_b := 250 \cdot \frac{\pi}{180} = 4.363 \text{ rad}$$

Coefficiente de fricción de la banda, μ_b , asumiendo que es de asbesto como se explico para las pastillas:

$$\mu_b := 0.30$$

Para realizar los cálculos se trabaja con base en la Figura freno de banda, en donde puedes observarse los diferentes elementos presentes en el mecanismo.



Freno de banda

Distancia, a , entre $Tb1$ y $Tb2$, como:

$$a := 0.025 \text{ m}$$

Largo de la varilla o cable tensor, L_b de:

$$L_b := 1.2 \text{ m}$$

Con los datos anteriores y estimando la fuerza que el conductor hace en el freno de mano la cual se aplica al cable tensor, por lo que la fuerza en éste, F_{barra} es:

$$F_{\text{barra}} := 95 \text{ N}$$

Siendo éste un valor de aproximadamente 20 Lbs que el conductor hace con la mano

La tensión en el pivote, T_{b2} , es:

$$T_{b2} := \frac{F_{\text{barra}} \cdot L_b}{a} = 4.56 \times 10^3 \text{ N}$$

La tensión máxima de la banda, T_{b1} , es:

$$T_{b1} := e^{(\mu_b)(\theta_b)} \cdot T_{b2} = 1.688 \times 10^4 \text{ N}$$

La presión máxima, p_{max} , es la que debe hacerse en la banda para detener el eje y evitar el movimiento. Entonces:

$$p_{\text{max}} := \frac{T_{b1}}{(r_b \cdot w_b)} = 8.442 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Entonces el torque que puede generarse con el freno, T_{bf} , el que va en dirección contraria al avance del auto para que de esta forma contrarreste a $\tau_{b\text{mano}}$, es decir el torque total en bajada. Se tiene:

$$T_{bf} := (T_{b1} - T_{b2})(r_b) = 616.16 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Ahora, comparando el valor, T_{bf} que es el que se logra con una fuerza de 20 lbs en el freno, contra el torque que se debe detener, $\tau_{b\text{mano}}$ causado por el auto en bajada con pendiente de 15%, se observa que:

$$T_{bf} > \tau_{b\text{mano}}$$

$$616.16 \text{ N}\cdot\text{m} > 584.175 \text{ N}\cdot\text{m}$$

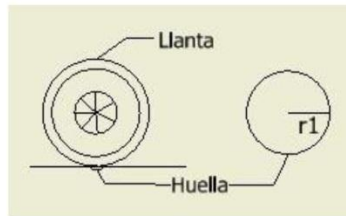
Por lo tanto la banda detiene el auto puesto que T_{bf} se opone a $\tau_{b\text{mano}}$ ya que se encuentran en direcciones opuestas y por tanto se evita el movimiento.

C. Cálculo sistema de dirección

 FUERZA PARA GIRAR

Para iniciar los cálculos de la dirección se considero de gran importancia conocer cuánto de la llanta está en contacto con el suelo. Con el fin de llevar a cabo lo anterior se colocaron las llantas delanteras a modo de conseguir una huella y para simplificar los cálculos se asumió que ésta tendría una forma circular.

Lo indicado se puede ver en la Figura Huella de llanta.



Huella de llanta

Entonces al asumir que la huella que deja la llanta en el suelo es de forma circular, el torque máximo sucede en el radio, r_1 , de:

$$r_1 := 0.030 \text{ m}$$

La masa que soporta cada llanta está distribuida un porcentaje que equivale a, m ,

Asumiendo que el peso se distribuye en 15 % para las llantas delanteras puesto que la mayor cantidad de elementos se encuentra en la parte posterior.

$$m := 400 \cdot 0.15 = 60 \text{ kg}$$

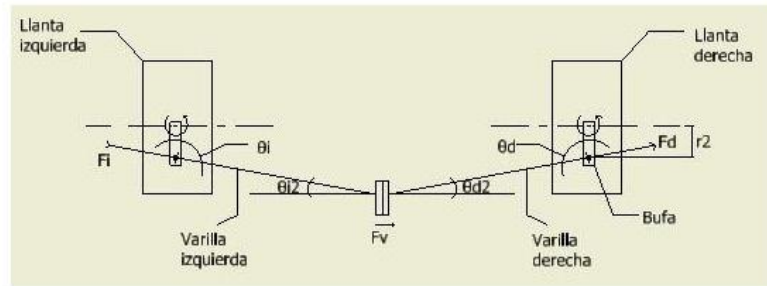
La gravedad presente:

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

El coeficiente de fricción estático, μ , entre la llanta y el asfalto:

$$\mu := 0.8$$

Para comprender adecuadamente los elementos que se utilizaron en los cálculos del sistema de dirección es de utilidad observar la Figura Sistema de giro.



Sistema de giro

El radio, r_2 , es la distancia que tiene la parte de la bufa que está unida con un tornillo que funciona de rótula y se toma como un radio ya que al girar se obtiene un círculo. Entonces:

$$r_2 := 0.1 \text{ m}$$

El ángulo que se forma entre la parte de la bufa que detiene la rótula y la varilla que proporciona el movimiento es, θ_d para la llanta derecha:

$$\theta_d := 100 \cdot \frac{\pi}{180} = 1.745 \text{ rad}$$

y es θ_i para la llanta izquierda:

$$\theta_i := 100 \cdot \frac{\pi}{180} = 1.745 \text{ rad}$$

Luego de realizar el análisis para los torques presentes se tiene que la fuerza que se debe realizar en la llanta derecha es, F_d , de:

$$F_d := \frac{\mu \cdot m \cdot g \cdot r_1}{r_2 \cdot \sin(\theta_d)} = 143.443 \text{ N}$$

* En libras:

$$\frac{F_d}{4.448} = 32.249 \text{ lbs}$$

Para la llanta izquierda

$$F_i := \frac{\mu \cdot m \cdot g \cdot r_1}{r_2 \cdot \sin(\theta_i)} = 143.443 \text{ N}$$

* En libras:

$$\frac{F_i}{4.448} = 32.249 \text{ lbs}$$

Ahora el ángulo que se forma entre la pieza de unión y las varillas que proporcionan el movimiento es, $\theta d2$ para la barilla derecha, $\theta i2$ para la barilla izquierda. [Si los anteriores tienen el mismo valor están en la posición central, dirección recta]

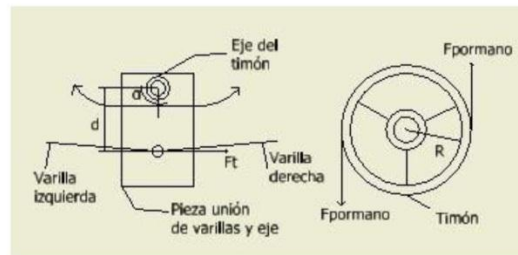
$$\theta d2 := 5 \cdot \frac{\pi}{180} = 0.087 \text{ rad}$$

$$\theta i2 := 5 \cdot \frac{\pi}{180} = 0.087 \text{ rad}$$

Entonces la fuerza, F_v , que se hace en la unión de las dos varillas y así poder moverlas es de:

$$F_v := F_i \cdot \cos(\theta i2) + F_d \cdot \cos(\theta d2) = 285.795 \text{ N}$$

Para observar los elementos tomados en cuenta en la pieza que une los diferentes componentes y además ver el análisis sobre el timón, se puede ver la Figura Unión de varillas y timón.



Unión de varillas y timón

Con un ángulo, α , que se encuentra entre la pieza rectangular que une las varillas con el eje del timón. Éste ángulo al tener un valor de 0 implica que no se está girando. Entonces:

$$\alpha := 0 \cdot \frac{\pi}{180} = \text{ rad}$$

La longitud, d , entre el centro del eje del timón y la unión inferior, en la pieza rectangular que une el eje y las varillas; es:

$$d := 0.05 \text{ m}$$

El radio, R , del timón es:

$$R := 0.15 \text{ m}$$

El radio, r_3 , es el que se forma cuando se hace girar la pieza cuadrada que sirve de unión entre el eje y las varillas. Este valor es igual a d cuando no se está girando. Entonces:

$$r_3 := \frac{d}{\cos(\alpha)} = 0.05 \text{ m}$$

Entonces la fuerza, F_t , que se debe hacer en la pieza cuadrada es:

$$F_t := \frac{F_v}{\cos(\alpha)} = 285.795 \text{ N}$$

El torque generado en la pieza es:

$$T_f := F_t \cdot r_3 = 14.29 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Por lo tanto, la fuerza que se debe hacer en el timón, F_m , es de:

$$F_m := \frac{T_f}{R} = 95.265 \text{ N}$$

* En libras:

$$F_{mlbs} := \frac{F_m}{4.448} = 21.417 \text{ lbs}$$

Dicha fuerza se distribuye entre las dos manos que se colocan al momento de girar y por tanto se observa que la fuerza por mano es:

$$F_{pormanano} := \frac{F_{mlbs}}{2} = 10.709 \text{ lbs}$$

Se observa que ésta es una fuerza que puede realizar cualquier conductor que utilice el automóvil, notando que es baja puesto que el peso está mayoritariamente en la parte trasera del auto. Esto afecta a la tracción de las llantas delanteras pero ayuda a suavizar el giro y de esta forma evitar el uso de un sistema hidráulico y de engranajes.

CORTE EN UNIONES

Utilizando acero que es de alta resistencia se tiene un esfuerzo de fluencia mínimo de $\sigma_y = 340 \text{ MPa}$ y el esfuerzo último menor es de $\sigma_u = 550 \text{ MPa}$. Entonces:

El diámetro del perno, que trabaja como rótula cercano a las llantas, es de

$$d1 := 0.01 \text{ m}$$

El área de dicho perno

$$A_{\text{perno1}} := \frac{\pi}{4} \cdot d1^2 = 7.854 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Por tanto el esfuerzo de corte con la fuerza $F_d = 143.443 \text{ N}$ resulta de

$$\sigma_{p1} := \frac{F_d}{A_{\text{perno1}}} = 1.826 \times 10^6 \text{ Pa}$$

El perno que une las dos varillas a la pieza cuadrada tienen un diámetro de

$$d2 := 0.01 \text{ m}$$

El área de dicho perno

$$A_{\text{perno2}} := \frac{\pi}{4} \cdot d2^2 = 7.854 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Por tanto el esfuerzo de corte con la fuerza $F_v = 285.795 \text{ N}$ resulta de

$$\sigma_{p2} := \frac{F_v}{A_{\text{perno2}}} = 3.639 \times 10^6 \text{ Pa}$$

El diámetro del eje del timón es

$$d4 := 0.05 \text{ m}$$

El área del eje

$$A_{\text{eje}} := \frac{\pi}{4} \cdot d4^2 = 1.963 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Por lo que el esfuerzo con la fuerza ejercida por las manos $F_m = 95.265 \text{ N}$ es de

$$\sigma_{\text{ejetimon}} := \frac{F_m}{A_{\text{eje}}} = 4.852 \times 10^4 \text{ Pa}$$

Ahora para que las barras no se corten y de esta forma los pernos no se salgan de su respectivo agujero.

Para las agujeros en las varillas se tiene un agujero de

$$a1 := d1 = 0.01 \text{ m}$$

Área que está en corte en la varilla

$$Avarilla1 := \frac{\pi \cdot a1^2}{4} = 7.854 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Corte causado por el perno con la fuerza $Fd = 143.443 \text{ N}$

$$\tau_{varilla1} := \frac{Fd}{Avarilla1} = 1.826 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Para la pieza cuadrada, se tiene una distancia alrededor del agujero, de

$$a3 := d1 = 0.01 \text{ m}$$

Área que está en corte en el seguidor

$$Aseguidor := \frac{\pi \cdot a3^2}{4} = 7.854 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Corte causado por el perno con la fuerza $Ft = 285.795 \text{ N}$

$$\tau_{seguidor} := \frac{Ft}{Aseguidor} = 3.639 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Para la pieza cuadrada, se tiene una distancia alrededor del eje del timón, de

$$a4 := 0.02 \text{ m}$$

Área que está en corte en el seguidor

$$Aseguidoreje := \frac{\pi \cdot a4^2}{4} = 3.142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

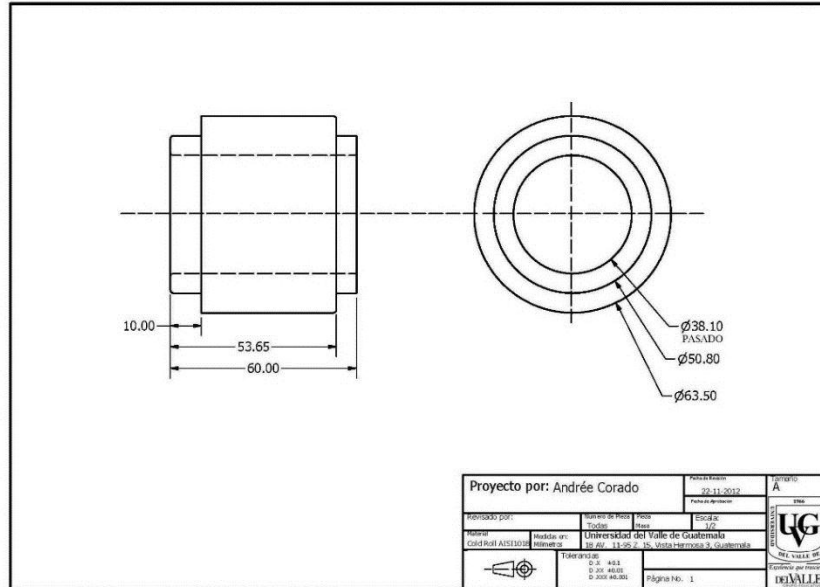
Corte causado por el perno con la fuerza $Fm = 95.265 \text{ N}$

$$\tau_{seguidoreje} := \frac{Fm}{Aseguidoreje} = 3.032 \times 10^5 \text{ Pa}$$

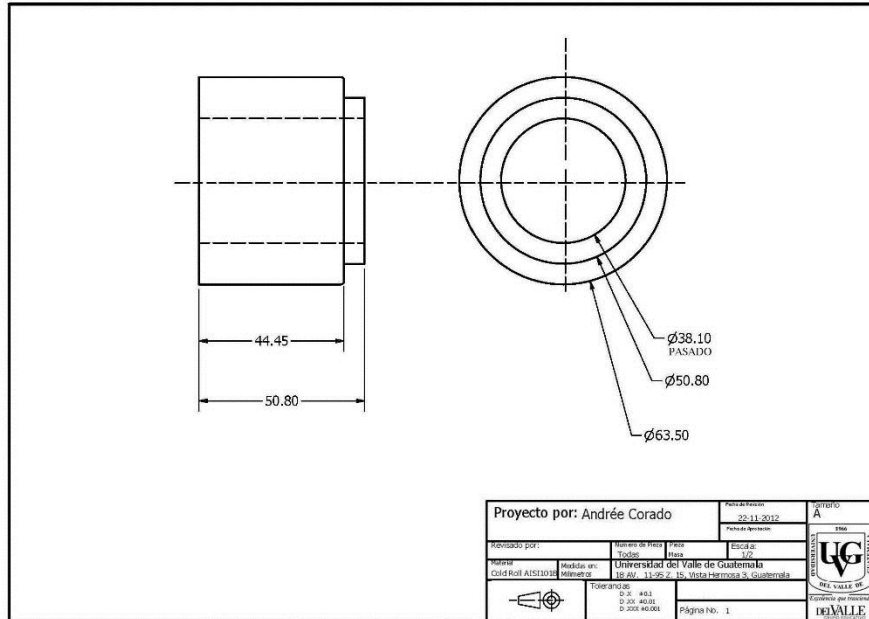
Observando que para las medidas previstas los elementos como los pernos y los agujeros de las varillas, así como la unión en la pieza central y las uniones en el seguidor, no superan los valores de esfuerzo $\sigma_y = 340 \text{ MPa}$ y $\sigma_u = 550 \text{ MPa}$. Por tanto no fallaran por corte los elementos evaluados.

D. Planos para crear las masas que sostienen los frenos de disco

1. Barra perforada de disco izquierdo

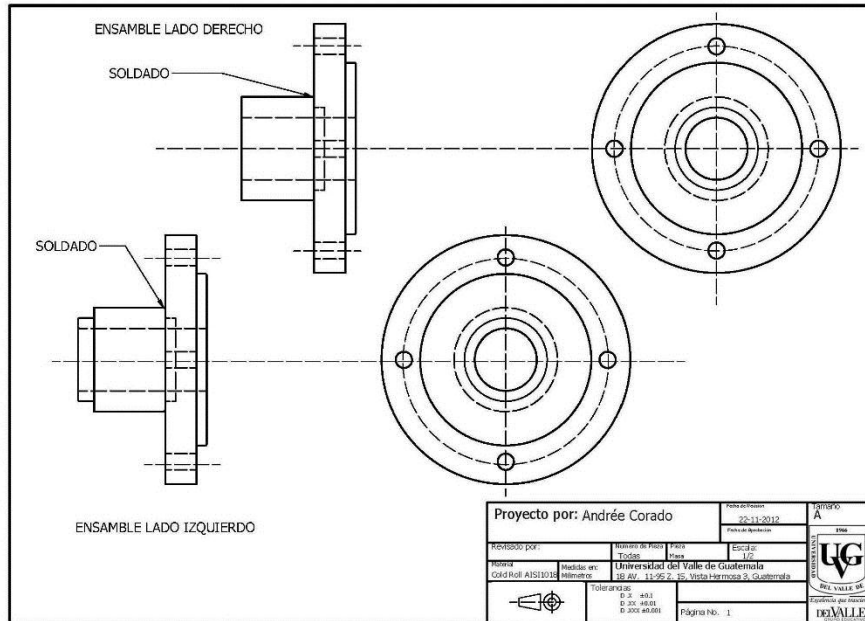


2. Barra perforada para disco derecho



Proyecto por: Andrée Corado		Fecha: 22-11-2012	Interno: A
Revisado por:	Nombre de Píxel: EUDS	Area: Area	Escala: 1:1
Material: CODE-Roll AISI316L	Medida en: milímetros	Universidad del Valle de Guatemala Calle Rolando Aycinena, 11-050, Zona Vista Hermosa 3, Guatemala	
Tolerancias: D.X. ±0.1 D.Ø ±0.05 D.ØØ ±0.05		Página No. 1	

4. Modelos realizados en Autodesk Inventor de las masas ensambladas



5. Cotización para los materiales de las masas



5ta. Calle 2-64 zona 13



12-710673

No. de cotización: 12-710673

Fecha: 28/06/2012

Validez de la Oferta 3 días

Empresa: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Tiempo de entrega: INMEDIATA

Con Atención a: ANDREE CORADO

Lugar de entrega: Ciudad Capital

Departamento de: COMPRAS

Condiciones de pago: CONTADO

REQ.

Días de crédito:

A continuación tenemos el agrado de presentarles la siguiente requisición de materiales para su consideración

Cantidad	Unidad de Medida	Código del Producto	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	1.5"	30106340P	BARRA PERFORADA PULIDA 2-1/2" * 1-1/2"	102.40	102.40
1	2.5"	30106340P	BARRA PERFORADA PULIDA 2-1/2" * 1-1/2"	120.40	120.40
2	1"	1111524	COLD ROLL (AISI 1018/20) RED. 6"	161.25	322.50
					0.00
TOTAL Q.					545.30

Observaciones:

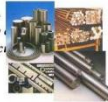
Agradecemos que nos permita ser parte de su alternativa orientada a mejorar y garantizar sus procesos productivos
Esperamos sus comentarios a la presente cotización de materiales solicitados

Nota importante:

Los precios están en quetzales e incluyen el IVA.

Para entrega de su pedido en nuestras oficinas o

Entregas fuera de la Ciudad Capital o emergencias



o a su asistente de Ventas

contactar con su asistente de ventas

Elaborado por:

Aceptado Cliente

CLAUDIA ESCOBAR

ASESORA DE VENTAS

Nombre, Firma y Sello

Teléfonos PBX: 2473-6297-24752717

Faxes : 2440-9374 y 2472-0718

E-mail : ventas2@metalesindustriales.com

CEL: 57001073

CON LA EXPERENCIA DE 40 AÑOS COMO LIDERES EN EL MERCADO

Importadora de Metales para la Industria . Venta por Representación. Existencias de Aceros Finos Aleados . Bronce Fosfórico y Latonado.
Aluminio 6061 , Acero Inoxidable, Aceros al Carbón , Hierro Fundido, Ertalón , Babbit, Resistencias y Controles marca Watlow.

D. ANEXOS DEL MÓDULO DE RECARGAS DE BATERÍAS

a. Conversión de capacidad de reserva a amperios hora

$$\text{Amperios hora} = \frac{\text{Capacidad de reserva}}{2} + 16$$

b. Celdas de baterías de litio hierro de fosfato (LiFePO4)

Figura 242: Celda de batería de litio



c. Contactor Curtis SPDT

Figura 243: Contactor Curtis SPDT



f. Cotización de cable de terminal para motor:



Tels:
Email: sv.central@erarelmo.com
Celular: 2470-1284
Departamento: Ventas Industriales
Vendedor: CARMEN MANSILLA
Fecha: 10/07/2012

Fecha de Emisión:
 10/07/2012

Cotización:
26585-CM

Cliente: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Atención a: WILBER SHEU
Dirección: CIUDAD
Email:

NIT:
Tel.:
Req.:

No.	Codigo	Descripción	Cant.	Valor Unitario	Valor Total
1	81*08	CLN CABLE SALIDA MOTOR PIE	24	Q36.18	Q868.32

Total en Letras:
 Ochocientos sesenta y ocho con 32/100

Total:
Q868.32

Observaciones:

Tiempo Aprox Entrega: INMEDIATA
Lugar de Entrega: BODEGA
Forma de Pago: Contado
Validez de la Oferta: 10 DIAS

1. Sujetos a existencias al momento de facturación
2. En importaciones no se aceptan devoluciones
3. Precios incluyen IVA
4. Los precios cotizados podrían variar dependiendo de la tasa de cambio del día de la facturación

Distribuidores Autorizados para Guatemala

Mejores Productos Industriales



www.era-relmo.com

g. Batería LiFePO4 de monopatín eléctrico de 800Watts

Cotización		
Producto (Modelo)	Descripción	Precio
Batería (LiFePO4Polymer 36V/20Ah)	Paquete de batería de 36V 20 Ah de LifePo4 con cargador	\$575.00



<http://superscootersales.com/products-page/scooter-accessories/36v-20ah-lifepo4-lithium-battery-pack-with-charger/>

h. Cotización de baterías de ciclo profundo y de arranque:

Baterías											
V	Ah	Modelo	Peso (lb)	Marca	Tipo	Precio unitario	Precio con Motor de			Distribuidor	Tel
							36V	24V	12V		
36	26	36V 26Ah	61	GLOBAL	Acido Plomo	Q2,840.00	Q2,840.00	Q0.00	Q0.00	CELCOMER	2478-1467
36	40	36V 40Ah	53			Q3,785.00	Q3,785.00	Q0.00	Q0.00		
36	50	36V 50Ah	120			Q4,550.00	Q4,550.00	Q0.00	Q0.00		
12	66	12V 66Ah	30	EVEREADY		Q529.90	Q1,589.70	Q1,059.80	Q529.90	Pricesmart	
12	51	12V 51Ah	30			Q529.90	Q1,589.70	Q1,059.80	Q529.90		
12	245	8A8D	160	DEKA	Gel	Q7,175.00	Q21,525.00	Q14,350.00	Q7,175.00	La Casa de las Baterías	2312-4292
12	183	8G4D	131			Q5,947.00	Q17,841.00	Q11,894.00	Q5,947.00		
12	65	DP24M				Q1,364.00	Q4,092.00	Q2,728.00	Q1,364.00		
12	80	DP27M				Q1,604.00	Q4,812.00	Q3,208.00	Q1,604.00		
12	75	DC24	45			Q1,539.00	Q4,617.00	Q3,078.00	Q1,539.00		
12	90	DC27	53			Q1,794.00	Q5,382.00	Q3,588.00	Q1,794.00		
12	105	27TMX	55	AUTOCRAFT	Deep Cycle	Q1,840.00	Q5,520.00	Q3,680.00	Q1,840.00		
6	225	T105				Q1,898.00	Q11,388.00	Q7,592.00	Q3,796.00		
6	244	T145				Q2,691.00	Q16,146.00	Q10,764.00	Q5,382.00		
12	114	GC8A				Q1,648.00	Q4,944.00	Q3,296.00	Q1,648.00		
12	105	GC2A				Q1,598.00	Q4,794.00	Q3,196.00	Q1,598.00		
12	75	27MDCA				Q1,188.00	Q3,564.00	Q2,376.00	Q1,188.00		
12	65	24MDCA			Q1,083.00	Q3,249.00	Q2,166.00	Q1,083.00			

i. Compra de relés por internet



Ship To:
 WILBER SHEU
 SECTION 81009/GUA
 7801 NW 37TH ST
 MIAMI, FL 33166

Bill To: WILBER SHEU
 SECTION 81009/GUA
 7801 NW 37TH ST
 MIAMI, FL 33166

INVOICE

Page: 1

Invoice Number H46768-01	Invoice Date 06/25/2012	Terms CREDITCARD
Buyer WILBER	Customer # WWJ387	Order Date 06/25/2012
Customer PO: EMAIL/154208		
F.O.B.	DESTINATION	
Ship Via	UPS GROUND	
Tracking #	1Z4AE4420346065574	
Currency	U.S. Dollar	

For sales questions please contact
 OLC at 702-462-7300 or
 Email: cs@onlinecomponents.com

For accounting questions please contact
 onlinecomponents.com at 702-462-7300 or
 Email: cs@onlinecomponents.com

Item No.	Manufacturer	Part Number	Quantity Ordered	Quantity Shipped	Unit Price	Total Price
01	MAGNECRAFT / SCHNEIDE	W199X-12	3	3	25.85	77.55
Subtotal						77.55
Tax						.00
Shipping & Handling						.00
TOTAL DUE						\$77.55

All claims for shortages must be made within 10 days from delivery. No returns will be accepted without prior authorization.
 This order is subject to terms and conditions found at <http://www.onlinecomponents.com/Downloads/saleterms.pdf>



Ship To:
WILBER SHEU
SECTION 81009/GUA
7801 NW 37TH ST
MIAMI, FL 33166

Bill To:
WILBER SHEU
SECTION 81009/GUA
7801 NW 37TH ST
MIAMI, FL 33166

INVOICE

Page: 1

Invoice Number H46769-01	Invoice Date 06/25/2012	Terms CREDITCARD
Buyer WILBER	Customer # WWJ387	Order Date 06/25/2012
Customer PO: EMAIL/154208		
F.O.B.	DESTINATION	
Ship Via	UPS GROUND	
Tracking #	1ZR187A10368291291	
Currency	U.S. Dollar	

For sales questions please contact

OLC at 702-462-7300 or
Email: cs@onlinecomponents.com

For accounting questions please contact

onlinecomponents.com at 702-462-7300 or
Email: cs@onlinecomponents.com

Item No.	Manufacturer	Part Number	Quantity Ordered	Quantity Shipped	Unit Price	Total Price	
01	MAGNECRAFT / SCHNEIDE	50-1289-1	3	3	8.57	25.71	
						Subtotal	25.71
						Tax	.00
						Shipping & Handling	8.95
						TOTAL DUE	\$34.66

All claims for shortages must be made within 10 days from delivery. No returns will be accepted without prior authorization.

This order is subject to terms and conditions found at <http://www.onlinecomponents.com/Downloads/saleterms.pdf>

E. ANEXO DE MÓDULO DE COMBUSTIÓN

1. ANÁLISIS TERMODINÁMICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Se cuenta con un motor de cuatro tiempos, mono cilíndrico de 125 c.c. con ignición por medio de chispa. De las mediciones realizadas con un tacómetro digital, se obtiene una velocidad angular promedio de 4,650 rpm para el eje de salida del motor de combustión interna. El motor posee una relación de compresión de 9.2:1, se estima una eficiencia mecánica de 35%. El combustible utilizado es gasolina con una relación aire combustible de 14.6 y según la bibliografía [73] el poder calorífico es de 43,000 kJ/kg y una eficiencia de combustión de 90% ya que es un motor viejo se desconoce el estado interno del motor. Al inicio de la carrera de compresión (estado inicial) se estima que la temperatura dentro de la cámara de combustión es de 50°C y utilizando un manómetro se obtiene la presión de compresión de 689kPa (100 psi). Se asume que hay un 4% de residuos de combustión del ciclo previo.

Utilizando:

- $K = 1.4$
- $c_v = 0.718 \text{ kJ/kg} - K$
- $R = 0.287 \text{ kJ/kg} - K$

Volumen de desplazamiento:

$$V_d = 125 \text{ c.c.} = 0.000125 \text{ m}^3$$

$$r_c = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_c + V_d}{V_c} \quad \therefore V_c = 0.0000152 \text{ m}^3$$

Estado1:

Carrera de admisión

$$T_1 = 50^\circ\text{C} = 323.15\text{K} \text{ (temperatura dada)}$$

$$P_1 = \frac{P_2}{(r_c)^k} = 30.82 \text{ kPa}$$

$$V_1 = V_c + V_d = 0.0001402 \text{ m}^3$$

La masa de la mezcla de admisión:

$$m_m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = 4.65 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

Estado 2:

Carrera de compresión isentrópica

$$P_2 = P_1 r_c^{1.4} = 689 \text{ kPa (Presión medida)}$$

$$T_2 = T_1 (r_c^{k-1}) = 785.08 \text{ K}$$

$$V_2 = V_c = 0.00001524 \text{ m}^3$$

Si se estima un 4% de residuos de los gases de escape del ciclo anterior, la masa de la mezcla está compuesta por m_a , m_f y m_{ex} que son la masa del aire fresco, masa de combustible y masa de gases de escape respectivamente.

$$m_a = \left(\frac{14.6}{15.6}\right) (0.96) (4.65 \times 10^{-5} \text{ kg}) = 4.18 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

$$m_f = \left(\frac{1}{15.6}\right) (0.96) (4.65 \times 10^{-5} \text{ kg}) = 2.86 \times 10^{-6} \text{ kg}$$

$$m_{ex} = (0.04) (4.65 \times 10^{-5} \text{ kg}) = 1.86 \times 10^{-6} \text{ kg}$$

Estado 3:

Combustión

Si se considera una eficiencia de combustión (ϵ_c) del 90%

$$Q_{in} = m_f Q_{HV} \epsilon_c = m_m C_v (T_3 - T_2)$$

$$T_3 = 4,470.54 \text{ K} = T_{max}$$

$$P_3 = P_2 \left(\frac{T_3}{T_2}\right) = 3,925.16 \text{ kPa} = P_{max}$$

$$V_3 = V_2 = V_c = 0.00001524 \text{ m}^3$$

Estado 4:

Carrera de trabajo isentrópica

$$T_4 = T_3 \left(1/r_c^{k-1}\right) = 1840.11 \text{ K}$$

$$P_4 = P_3(1/r_c)^k = 175.61 \text{ kPa}$$

$$V_4 = V_1 = 0.0001402 \text{ m}^3$$

El trabajo realizado en la carrera de trabajo isentrópica, desde el estado 3 al estado 4, se obtiene de la siguiente manera:

$$W_{3-4} = m_m R \frac{(T_4 - T_3)}{1 - k} = 0.0879 \text{ kJ}$$

El trabajo absorbido por la carrera de compresión isentrópica desde el estado 1 al estado 2 se obtiene de la siguiente manera;

$$W_{1-2} = m_m R \frac{(T_2 - T_1)}{1 - k} = -0.0154 \text{ kJ}$$

El trabajo neto producido en el cilindro en una revolución se obtiene sumando el trabajo neto absorbido en la carrera de compresión isentrópica y el trabajo neto producido en la carrera de trabajo isentrópica:

$$W_{net} = W_{1-2} + W_{3-4} = 0.0724 \text{ kJ}$$

La eficiencia térmica (ϵ_t) del motor de combustión interna se obtiene de:

$$Q_{in} = m_f Q_{HV} \epsilon_c = 0.123 \text{ kJ}$$

$$\epsilon_t = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = 0.5879 = 58.79\%$$

La potencia indicada a 4,650 rpm se obtiene de:

$$\dot{W}_i = \frac{W_{net} N}{n} = 2.81 \text{ kW} = 2.81 \text{ hp}$$

La potencia al freno del motor de combustión interna operando a 4,650 rpm es obtiene de:

$$\dot{W}_b = \epsilon_m \dot{W}_i = 0.98 \text{ kW} = 1.32 \text{ hp}$$

El torque entregado por el motor se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{\dot{W}_b}{2\pi N} = 2.02 \text{ N} - \text{m}$$

El consumo específico de combustible al freno (bsfc) se define como la masa de combustible utilizada para generar un Kw-hora y se obtiene de la siguiente expresión matemática:

$$\dot{m}_f = m_f N / n = 1.01 \times 10^{-4} \text{ kg/seg}$$

Si se utiliza la densidad del combustible como 680 Kg/m^3 , se puede obtener el consumo de combustible en m^3/seg

$$\dot{v} = \frac{\dot{m}_f}{\rho} = 1.63 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{seg}$$

Realizando la conversión de m^3 a galones estadounidenses, se obtiene un flujo volumétrico de combustible de $4.31 \times 10^{-5} \text{ gal/seg}$

Para conocer el consumo por hora de operación se multiplica el consumo antes mencionado por 3,600 segundos.

$$4.31 \times 10^{-5} \text{ gal/seg} \times 3,600 \text{ segundos} \approx 0.16 \text{ galones/hora}$$

La eficiencia volumétrica del motor de combustión interna es de:

$$\epsilon_v = \frac{m_a}{\rho_a V_d} = 0.2833 = 28.33\%$$

2. CÁLCULO SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Se desea transmitir potencia desde un motor de combustión interna hacia un generador eléctrico. La bibliografía [76] recomienda una polea mínima de 3 in como impulsora, y se toma el caso de que debe operar a 1,800 rpm para generar 40 voltios. De la Ecuación No. 1 se obtiene la relación entre la velocidad angular y el radio de una polea.

$$\text{Ecuación No. 1} \quad \frac{\omega_{\text{generador}}}{\omega_{\text{motor}}} = \frac{r_{\text{motor}}}{r_{\text{generador}}}$$

$$\frac{1,800 \text{ rpm}}{\omega_{\text{motor}}} = \frac{3 \text{ in}}{r_{\text{generador}}}$$

$$w_{\text{motor}} = 600 \times r_{\text{generador}}$$

Ya que debe ser una polea mayor a la impulsora para producir un efecto de reducción de velocidad, se calcula con medidas estándares en el mercado. Se obtiene que con una polea de 4 in se obtiene una velocidad angular (w_{motor}) de 2,400 rpm, lo cual, con base en las pruebas realizadas experimentalmente, logra la ignición del motor de combustión interna sin presentar defectos.

La relación de velocidades se obtiene de la **Ecuación No. 2**, la cual es de 1.33

$$\text{Ecuación No. 2} \quad \frac{2,400 \text{ rpm}}{1,800 \text{ rpm}} = 1.33$$

Se concluye el diseño de un sistema de transmisión de potencia desde un motor de combustión interna que opera a 2,400 rpm con una polea impulsora de 3 pulgadas y un generador eléctrico que opera a 1,800 rpm y posee una polea impulsada de 4 pulgadas de diámetro. Estos cálculos fueron realizados como cálculos primarios, luego, estos datos de velocidades angulares fueron modificados para lograr el objetivo de generación de 40V y 20 A.

Sabiendo que se cuenta con una distancia máxima entre centros de 13 pulgadas, y del Anexo E se conocen las dimensiones del generador, se tomó como distancia entre centros (C) un valor de 8 pulgadas. Se considera apropiada una distancia de 8 pulgadas ya que según se observa en el apéndice antes mencionado, el radio del generador es de 3.3 pulgadas. Se utiliza el diámetro mayor de polea (D) como 4 in y el diámetro menor de la polea (d) como 3 in. Para determinar la longitud de paso de la banda, se utiliza la siguiente expresión:

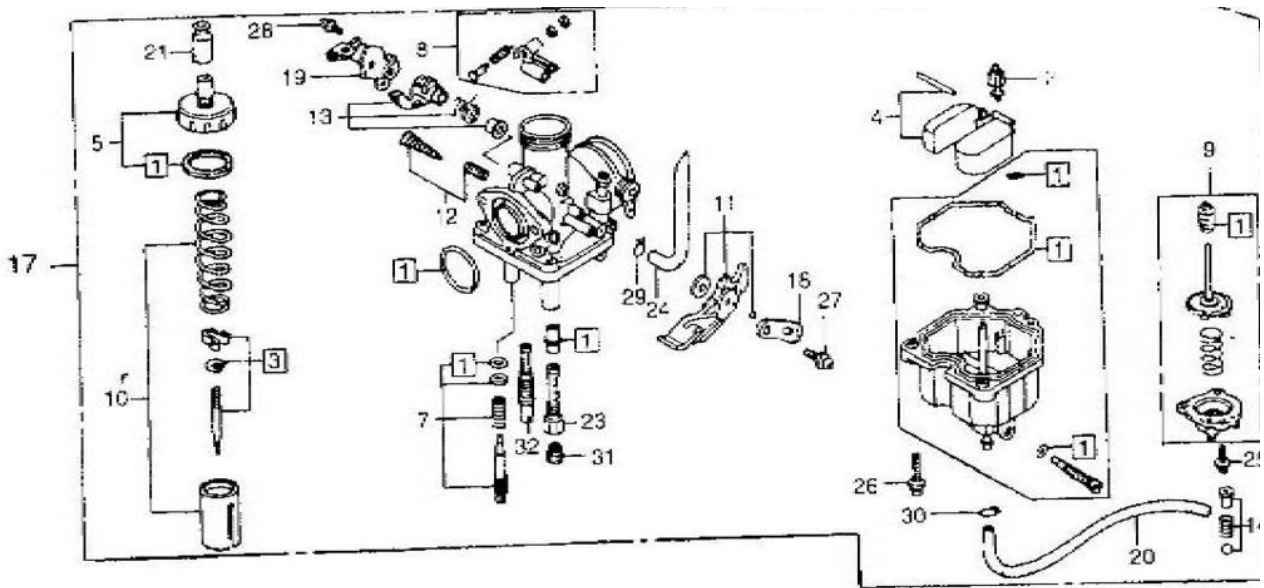
$$L_p = 2C + \pi \frac{(D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C} = 23.88$$

Se selecciona una banda tipo A ya que cumple con el rango de potencia deseado.

Luego de obtener la longitud de paso, es necesario realizar la conversión a una longitud de paso en pulgadas. Dicha operación da como resultado una longitud de paso de 25.18 in. Observando los valores estándar de las longitudes de paso, se selecciona una banda con longitud de paso 26.

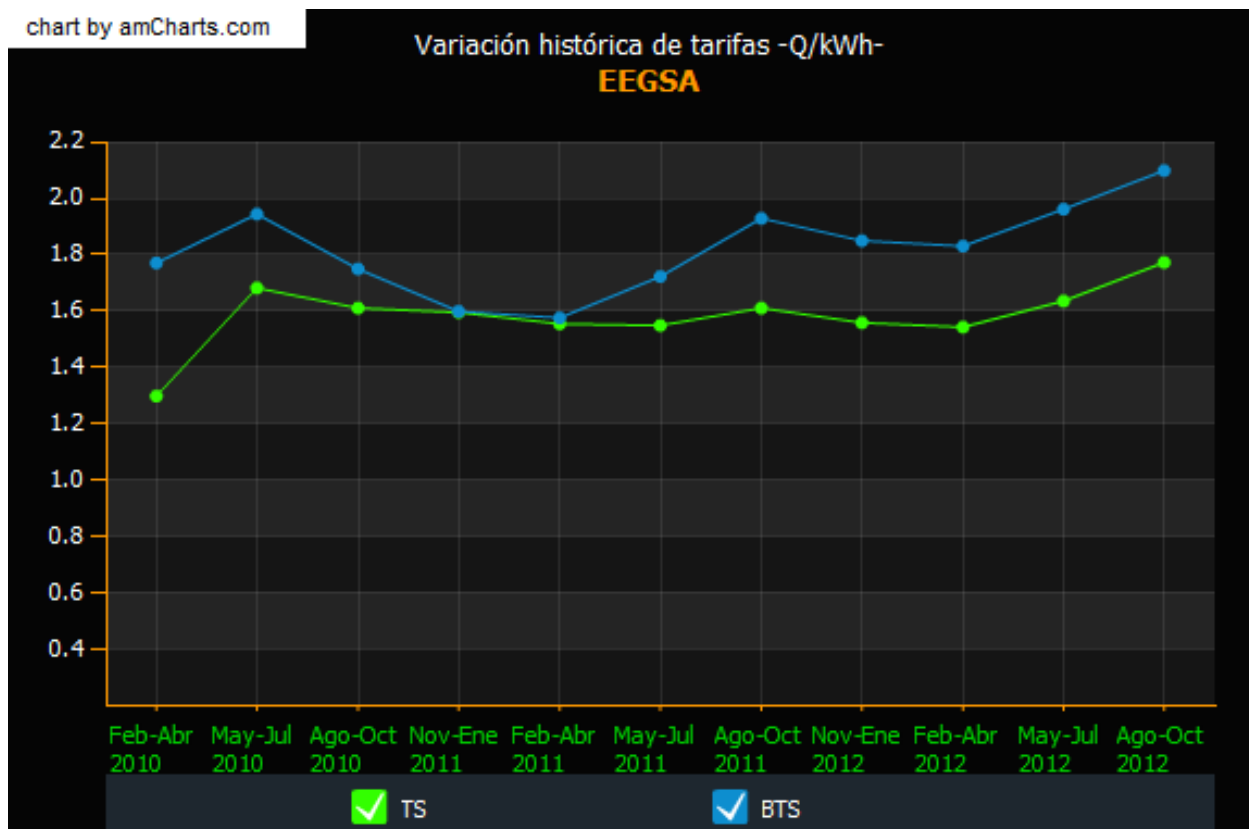
La designación de la banda utilizada es una banda A-26, una polea impulsora de 3 in y una polea impulsada de 4 in.

3. DIAGRAMA DE PARTES DEL CARBURADOR



REF.	DESCRIPCION	CANT.	REF.	DESCRIPCION	CANT.
1	JUEGO DE JUNTAS	1	17	CARBURADOR CTO.	1
2	PUNZON	1	18	SOPORTE PALANCA CEBADOR	1
3	AGUJA CORTINA	1	19	LEVA MARIPOSA CEBADOR	1
4	FLOTADOR	1	20	TUBO DESCARGA.	1
5	TAPA CORTINA	1	21	CAPUCHON	1
6	CUBA CARBURADOR	1	22	JUNTA CARBURADOR	1
7	TORNILLO REGULADOR AIRE BAJA	1	23	DIFUSOR	1
8	REGULADOR DE AIRE	1	24	MANGUERA	1
9	BOMBA PIQUE	1	25	TORNILLO 4x12	1
10	CORTINA Y RESORTE	1	26	TORNILLO 4x16	1
11	PALANCA CEBADOR	1	27	TORNILLO 5x12	1
12	TORNILLO RALENTI	1	28	TORNILLO 5x14	1
13	SOPORTE	1	29	CLIP	1
14	VALVULA REBALSE	2	30	CLIP	1
15	O'RING, 13x4.3	1	31	CICLEUR ALTA #98	1
16	O'RING	1	32	CICLEUR BAJA #38	1

4. PRECIOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA



Materiales Extras	Costo Q

Supervisado / Autorizado	Firma de Recibido

7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MOTOR ROADPOWER 125C.C.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RP125

LARGO TOTAL	1887mm
ANCHO TOTAL	722mm
ALTURA TOTAL	1035mm
DIST. ENTRE EJES	1290mm
DESPEJE MÍNIMO	100mm
PEÑO VEHÍCULO	103kg
CARGA MAX PERMITIDA	150kg
TIPO MOTOR	Monocilindro, 4 tiempos enfriado por aire
DIÁMETRO PISTON	52.4mm
CARRERA	57.8mm
COMPRESIÓN	9.2:1
CILINDRADA	124.6 c.c.
POTENCIA	7.0 HP/ 7500 rpm
TORQUE	7.8N.m/6000rpm
RPM MARCHA LENTA	1400+ - 150 rpm
LUBRICACIÓN	Forzada por bomba de aceite
TRANSMISIÓN	Automática por Variador
FRENO DELANTERO	Hidráulico de Disco
FRENO TRASERO	Mecánico de Tambor
EMBRAGUE	Automático centrífugo
SUSPENSIÓN DELANTERA	Telescópica hidráulica
SUSPENSIÓN TRASERA	Mono amortiguador hidráulico
NEUMÁTICO DEL.	120/90 - 10
NEUMÁTICO TRAS	130/90 - 10
CAPACIDAD TANQUE COMB	5.5Lts
OCTANAJE MÍNIMO RECOM	90
CAPACIDAD CARTER ACEITE	0.8 L.
ACEITE RECOMENDADO	15W40 SF
SISTEMA ARRANQUE	Eléctrico y patada
ENCENDIDO	Electrónico por CDI
AVANCE	20° APMS (1200 rpm)
BUJÍA	NGK D8EA/D7EA
LUZ ELECTRODOS	06.-0.7mm
BATERIA	12 V -7Ah
FUSIBLE	10 A
FARO DELANTERO	12V 35/35W
LUZ TRASERA/FRENO	12V 21/51W
SEÑALERO	12V 10W
LAMPARAS TABLERO INSTR.	12V 3W

8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR 2 TIEMPOS DLE

This is the DLE 35-RA Gasoline Engine with Electronic Ignition.

FEATURES: High performance in a compact package

Rear exhaust for the perfect tuned pipe setup

Newly designed piston with re-engineered skirt for less piston

weight resulting in such advantages as awesome throttle response,

more power and longer engine life

Electronic ignition is the no-hassle answer to simpler starts,

higher performance and minimal RF noise

Producing 400 more rpm than the DLE30, the DLE 35-RA comes with

muffler engine standoffs, electronic ignition, spark plug and

Two year limited warranty through Hobby Services beginning at date

of purchase

INCLUDES: DLE 35-RA Gasoline Engine

Electronic Ignition

Muffler

NGK CM6 Spark Plug

Four Engine Standoffs with Mounting Hardware

Integrated Choke Rod Guide

Rear-mounted Carb

Instruction Manual

REQUIRES: Gasoline with at least 87 octane rating

2-cycle oil, mix ratio for this engine is 30 parts gas to one part

oil and must be followed exactly for warranty consideration and optimum performance

4.8 - 12V battery for ignition

(separate receiver style pack can be used) (LiPo & LiFe requires

voltage regulator)

Propeller and field equipment

SPECS: Displacement: 34.5 cc (2.13 cu in)

Bore: 1.5 in (38.5 mm)

Compression Ratio: 7.6:1

Static Thrust: 9.5kg Pulling Force/100 meters altitude

7.8kg Pulling Force/1,800 meters altitude

Gasoline/Oil Mixture: 30:1

Gasoline Octane Rating: 87

Recommended Propellers: 18x10, 19x8, 20x8, 20x10

Weight, engine: 2.06 lb (936 g)

Weight, muffler: 2.61 oz (74 g)

Weight, ignition module: 5.26 oz (147 g)

Output: 4.1 hp @ 8,500 RPM

Carburetor Adjustments;

Low Speed Needle: 1.1 turns out as a starting point, adjust for a

smooth idle and a reliable transition to high throttle

High Speed Needle: 1.5 turns out from closed, adjust needle to peak

RPM, if engine slows or dies at full throttle, the high-speed

mixture is likely too lean

Muffler Dimensions: 3.6 x 2.3 x 1.3" (92 x 58 x 33mm)

Exhaust Outlet Length: 1.9" (48.5mm)

Exhaust Outlet Diameter: 0.63" (16.1mm)

Distance Between Mounting Hole Centers Same Side: 2.1" (54mm)

Distance Between Mounting Hole Centers Opposite Side: 3.1" (80mm)

Height from bottom/Crankcase to top of Cylinder Head: 5.4" (138mm)

Width of Cylinder Head: 2.5" (65mm)

Distance Between Muffler Mounting Hole Centers: 1.6" (40mm)

9. ANÁLISIS TERMODINAMICO A REGIMEN RALENTÍ

Se cuenta con un motor de cuatro tiempos, mono cilíndrico de 125 c.c. con ignición por medio de chispa. De las mediciones realizadas con un tacómetro digital, se obtiene régimen a ralentí de 1,900 rpm para el eje de salida del motor de combustión interna. El motor posee una relación de compresión de 9.2:1, se estima una eficiencia mecánica de 35%. El combustible utilizado es gasolina con una relación aire combustible de 14.6 y según la bibliografía [73] el poder calorífico es de 43,000 kJ/kg y una eficiencia de combustión de 90% ya que es un motor viejo se desconoce el estado interno del motor. Al inicio de la carrera de compresión (estado inicial) se estima que la temperatura dentro de la cámara de combustión es de 50°C y utilizando un manómetro se obtiene la presión de compresión de 693kPa. Se asume que hay un 4% de residuos de combustión del ciclo previo.

Utilizando:

- $K = 1.4$
- $c_v = 0.718 \text{ kJ/kg} - K$

- $R = 0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

Volumen de desplazamiento:

$$V_d = 125 \text{ c. c.} = 0.000125 \text{ m}^3$$

$$r_c = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_c + V_d}{V_c} \quad \therefore V_c = 0.0000152 \text{ m}^3$$

Estado 1:

Carrera de admisión

$$T_1 = 50^\circ\text{C} = 323.15 \text{ K (temperatura dada)}$$

$$P_1 = \frac{P_2}{(r_c)^k} = 30.82 \text{ kPa}$$

$$V_1 = V_c + V_d = 0.0001402 \text{ m}^3$$

La masa de la mezcla de admisión:

$$m_m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = 4.67 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

Estado 2:

Carrera de compresión isentrópica

$$P_2 = P_1 r_c^{1.4} = 692.89 \text{ kPa (Presión medida)}$$

$$T_2 = T_1 (r_c^{k-1}) = 785.08 \text{ K}$$

$$V_2 = V_c = 0.00001524 \text{ m}^3$$

Si se estima un 4% de residuos de los gases de escape del ciclo anterior, la masa de la mezcla está compuesta por m_a , m_f y m_{ex} que son la masa del aire fresco, masa de combustible y masa de gases de escape respectivamente.

$$m_a = \left(\frac{14.6}{15.6} \right) (0.96) (4.67 \times 10^{-5} \text{ kg}) = 4.2 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

$$m_f = \left(\frac{1}{15.6}\right)(0.96)(4.67 \times 10^{-5} \text{ kg}) = 2.88 \times 10^{-6} \text{ kg}$$

$$m_{ex} = (0.04)(4.67 \times 10^{-5} \text{ kg}) = 1.87 \times 10^{-6} \text{ kg}$$

Estado 3:

Combustión

Si se considera una eficiencia de combustión (ϵ_c) del 90%

$$Q_{in} = m_f Q_{HV} \epsilon_c = m_m C_v (T_3 - T_2)$$

$$T_3 = 4,470.54 \text{ K} = T_{max}$$

$$P_3 = P_2 \left(\frac{T_3}{T_2}\right) = 3,945.53 \text{ kPa} = P_{max}$$

$$V_3 = V_2 = V_c = 0.00001524 \text{ m}^3$$

Estado 4:

Carrera de trabajo isentrópica

$$T_4 = T_3 \left(1/r_c^{k-1}\right) = 1840.11 \text{ K}$$

$$P_4 = P_3 (1/r_c)^k = 175.52 \text{ kPa}$$

$$V_4 = V_1 = 0.0001402 \text{ m}^3$$

El trabajo realizado en la carrera de trabajo isentrópica, desde el estado 3 al estado 4, se obtiene de la siguiente manera:

$$W_{3-4} = m_m R \frac{(T_4 - T_3)}{1 - k} = 0.08831 \text{ kJ}$$

El trabajo absorbido por la carrera de compresión isentrópica desde el estado 1 al estado 2 se obtiene de la siguiente manera;

$$W_{1-2} = m_m R \frac{(T_2 - T_1)}{1 - k} = -0.01550 \text{ kJ}$$

El trabajo neto producido en el cilindro en una revolución se obtiene sumando el trabajo neto absorbido en la carrera de compresión isentrópica y el trabajo neto producido en la carrera de trabajo isentrópica:

$$W_{net} = W_{1-2} + W_{3-4} = 0.07280 \text{ kJ}$$

La eficiencia térmica (ϵ_t) del motor de combustión interna se obtiene de:

$$Q_{in} = m_f Q_{HV} \epsilon_c = 0.1238 \text{ kJ}$$

$$\epsilon_t = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = 0.5879 = 58.79\%$$

La potencia indicada a 1,900 rpm se obtiene de:

$$\dot{W}_i = \frac{W_{net} N}{n} = 2.81 \text{ kW} = 1.15 \text{ hp}$$

La potencia al freno del motor de combustión interna operando a 1,900 rpm es obtenida de:

$$\dot{W}_b = \epsilon_m \dot{W}_i = 0.98 \text{ kW} = 0.54 \text{ hp}$$

El torque entregado por el motor se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{\dot{W}_b}{2\pi N} = 2.03 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El consumo específico de combustible al freno (bsfc) se define como la masa de combustible utilizada para generar un Kw-hora y se obtiene de la siguiente expresión matemática:

$$\dot{m}_f = m_f N / n = 4.560 \times 10^{-5} \text{ kg/seg}$$

Si se utiliza la densidad del combustible como 680 Kg/m³, se puede obtener el consumo de combustible en m³/seg

$$\dot{v} = \frac{\dot{m}_f}{\rho} = 6.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{seg}$$

Realizando la conversión de m³ a galones estadounidenses, se obtiene un flujo volumétrico de combustible de $4.31 \times 10^{-5} \text{ gal/seg}$

Para conocer el consumo por hora de operación se multiplica el consumo antes mencionado por 3,600 segundos.

$$4.31 \times 10^{-5} \text{ gal/seg} \times 3,600 \text{ segundos} \approx 0.06 \text{ galones/hora}$$

La eficiencia volumétrica del motor de combustión interna es de:

$$\epsilon_v = \frac{m_a}{\rho_a V_d} = 0.2848 = 28.48\%$$

10. PLANOS

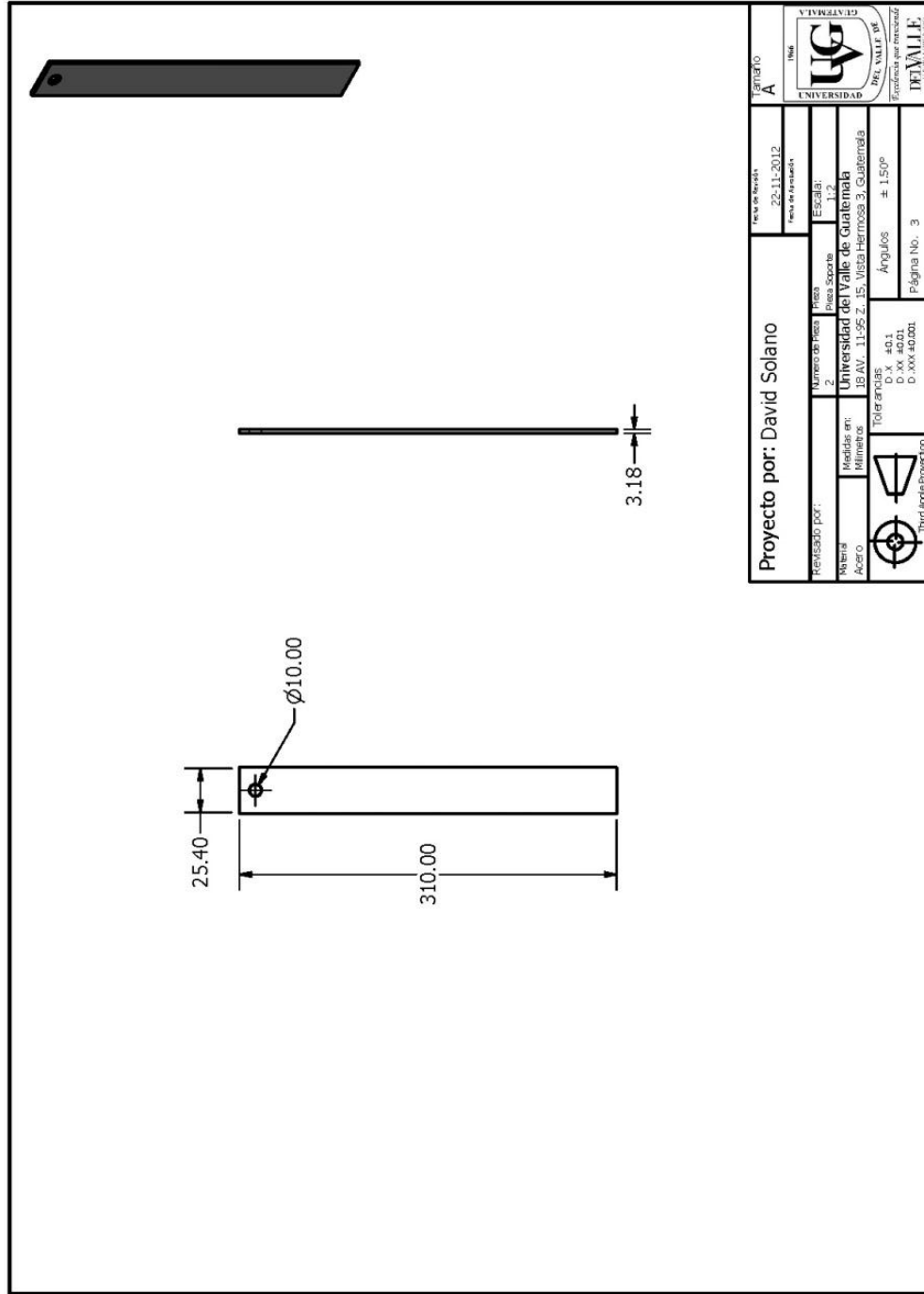
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

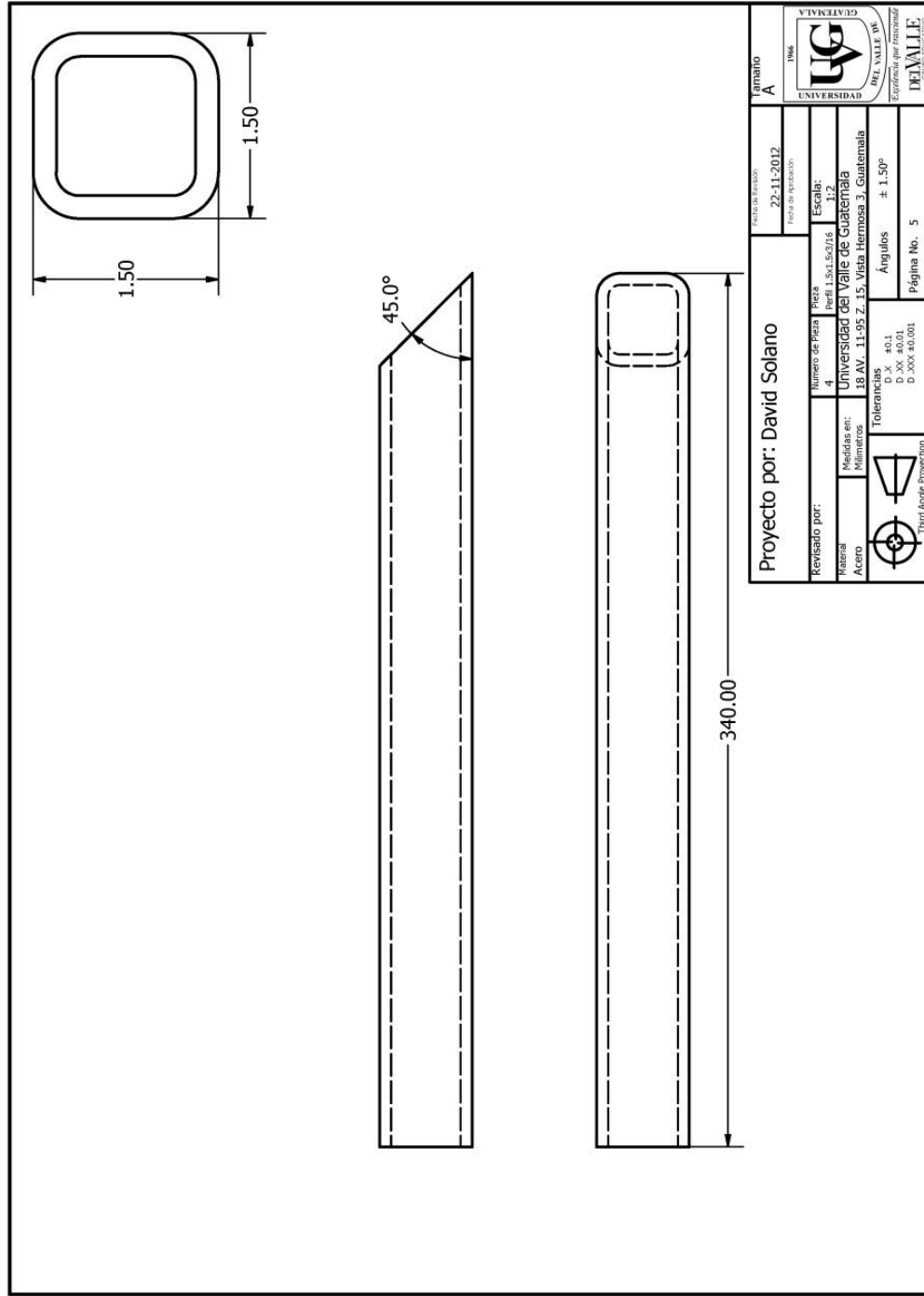
Proyecto por: David Solano		Fecha de Proyecto: 22-11-2012		Escala: 1:4	
Revisado por:	Numero de Pieza: Todas	Pieza:	Ensemble		
Material: Acero	Medidas en: Milímetros		Universidad del Valle de Guatemala 18 AV. 11-95 Z. 15, Vista Hermosa 3, Guatemala		
Tolerancias: D.X ± 0.1 D.XX ± 0.01 D.XXX ± 0.001		Ángulos ± 1.50°		Página No. 1	
 Third Angle Projection		 UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA			

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Proyecto por: David Solano		Fecha de Entrega 22-11-2012	Fecha de Aprobación
Materia Acero	Número de Piezas 2	Escala: 1:1	Universidad Universidad del Valle de Guatemala
Nombre del Alumno 	Dirección 18 AV. 11-95 Z. 15, Vista Hermosa 3, Guatemala	Tolerancias D.XX ±0.1 D.XX ±0.01 D.XXX ±0.001	Angulos ≠ 15° Página No. 3
	Tipo de Proyección Tercera Proyección	Universidad Universidad del Valle de Guatemala No. VALL 108	Facultad que pertenece DEVALLE

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



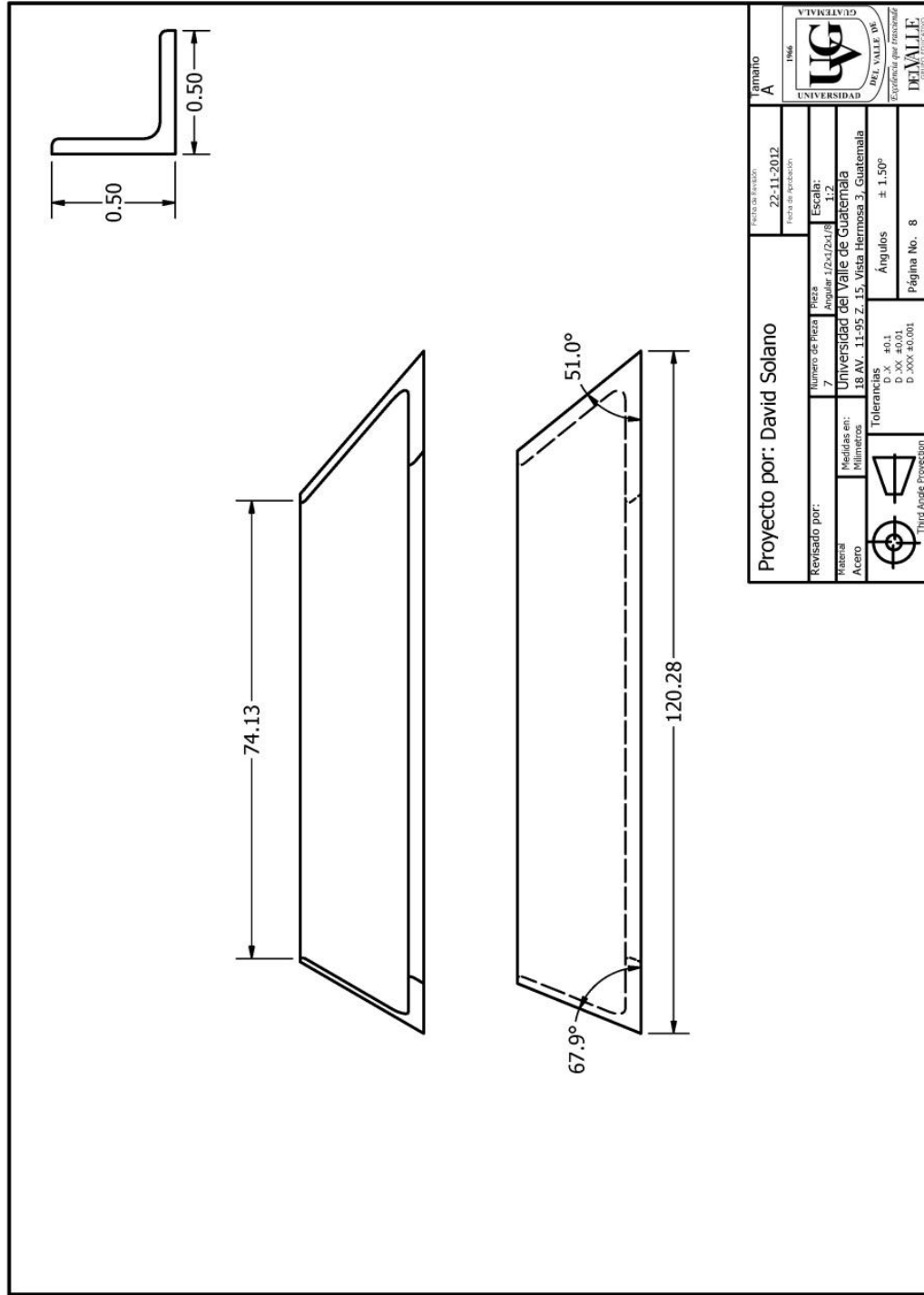
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

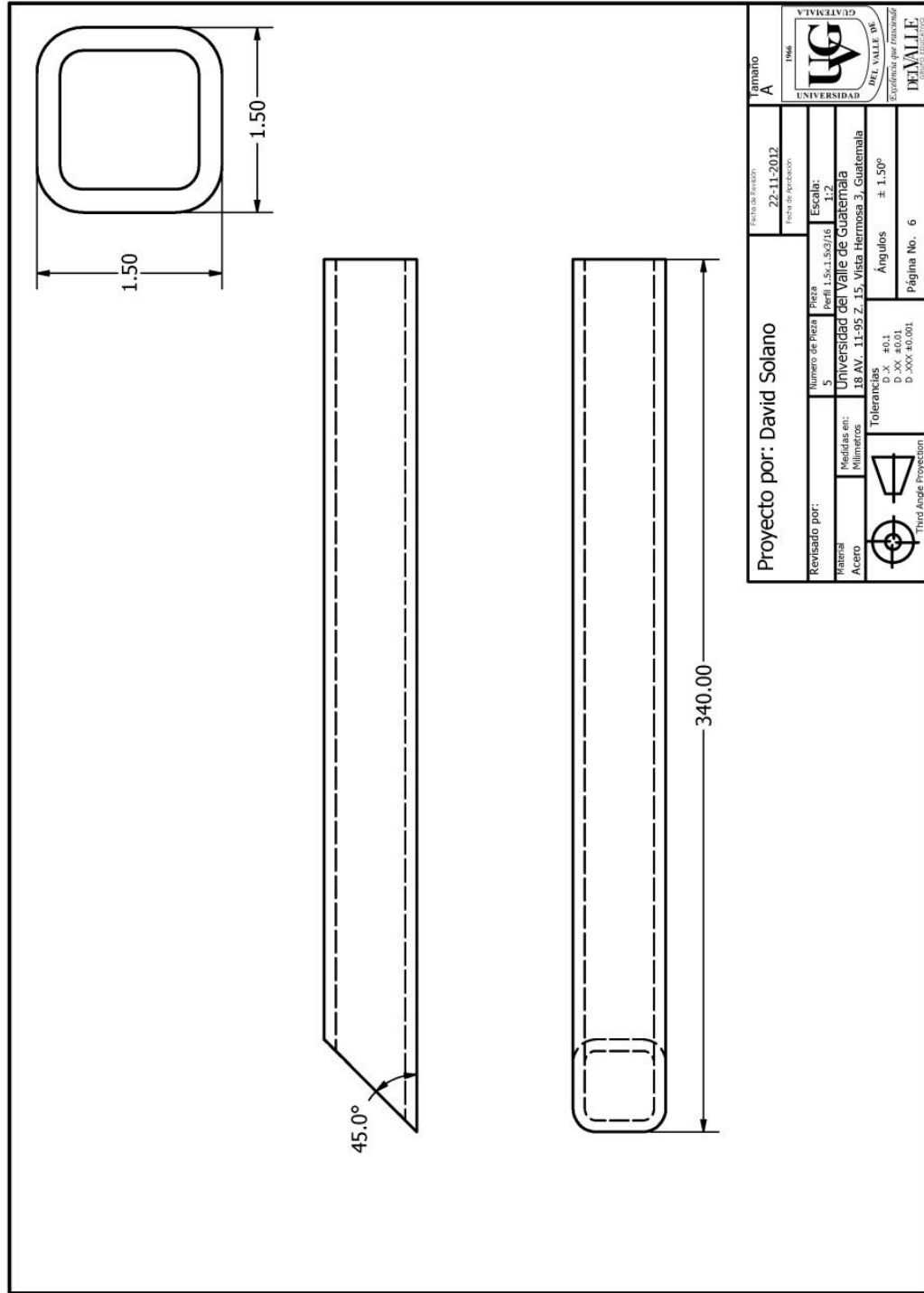
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Proyecto por: David Solano		Fecha de Emisión: 22-11-2012	Fecha de Aprobación:
Revisado por:	Número de Pieza: 7	Pieza: Acabado / 1/2x1/2x1/4	Escala: 1:2
Material: Acero	Medidas en: Milímetros	Universidad del Valle de Guatemala 18 AV. 11-95 Z. 15. Vista Hermosa 3, Guatemala	Tolerancias: D +0.1 D -XX +0.01 D -XXX +0.001
Third Angle Projection	Ángulos: ± 1.50°	Página No. 8	Universidad del Valle 1966 DEL VALLE, W Excellencia que trasciende

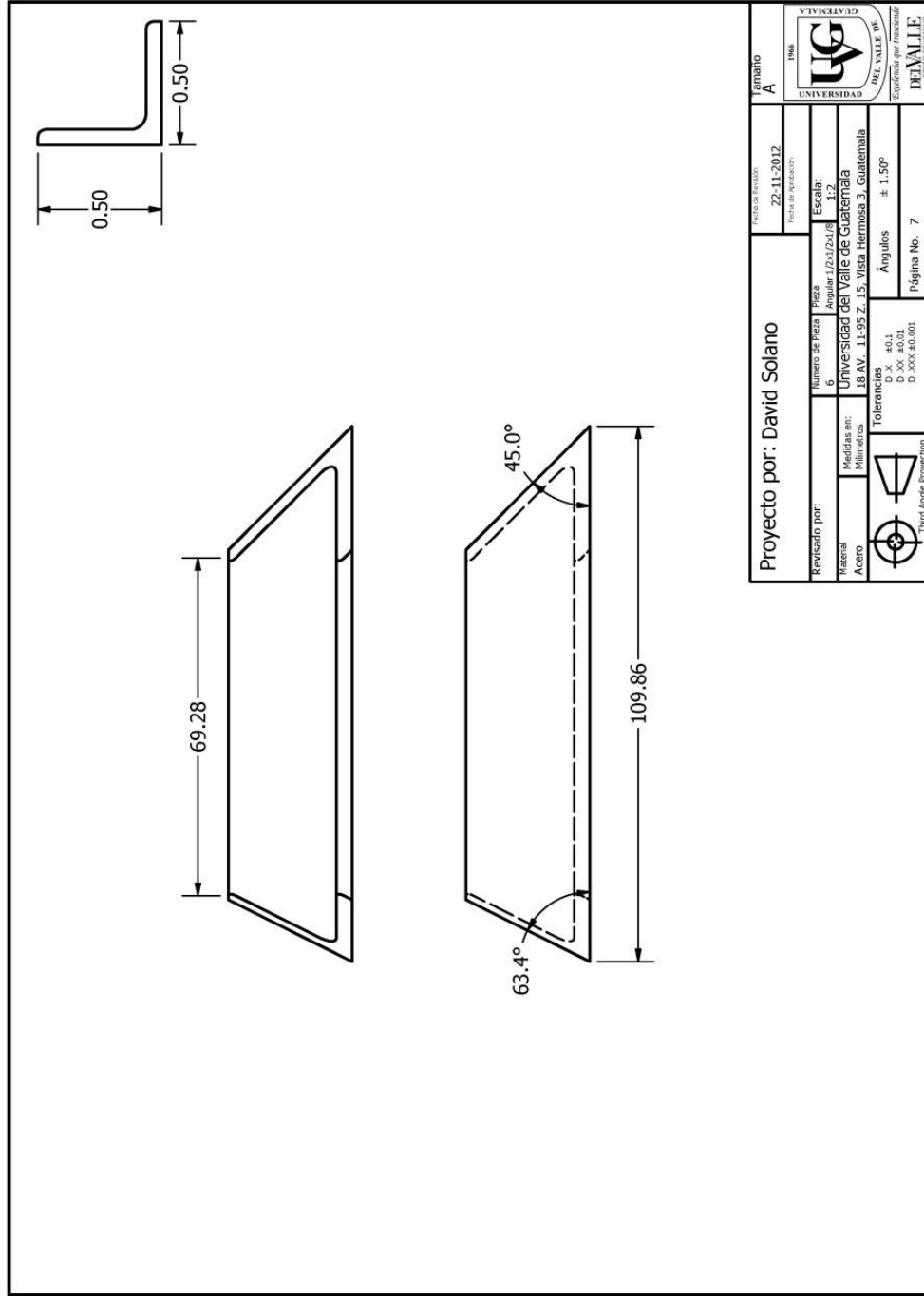
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Proyecto por: David Solano		Fecha de Emisión: 22-11-2012	Tamaño: A
		Fecha de Revisión:	
Revisado por:	Número de Pieza: 5	Pieza: Perfil L.S.K.1.5x2/16	Escala: 1:2
Materia: Acero	Medidas en: 18 Av. 11-95 Z. 15. Vista Hermosa 3, Guatemala		
Tolerancias:		Ángulos: ± 1.50°	
D.X. ±0.1		D.XX ±0.01	
D.XXX ±0.01		D.XXX ±0.01	
Third Angle Projection		Página No. 6	
		UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA	
		1966	
		Escuela de Ingeniería	

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Proyecto por: David Solano		Fecha de Emisión: 22-11-2012		Formato: A	
Número de Pieza: 6		Fecha de Aprobación:		UNIVERSIDAD DEL VALLE	
Materia: Acero		Escala: 1:2		UNIVERSIDAD DEL VALLE	
Medidas en: Milímetros		Angulo: 1/2x1/8		UNIVERSIDAD DEL VALLE	
Tolerancias: D.X ±0.1		Escala: 1:2		UNIVERSIDAD DEL VALLE	
D.XX ±0.01		Angulo: 1/2x1/8		UNIVERSIDAD DEL VALLE	
D.XXX ±0.001		Angulo: 1/2x1/8		UNIVERSIDAD DEL VALLE	
Third Angle Projection		Angulos: ± 1.50°		UNIVERSIDAD DEL VALLE	
		Página No. 7		UNIVERSIDAD DEL VALLE	

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

F. ANEXO DEL MÓDULO SENSORES

Código fuente en MikroC del controlador de sensores

```

int  temperatura_ambiente(){

const unsigned short TEMP_RESOLUTION = 9; //poner 9 transitor, 12
termocupla
char *text = "000";
unsigned temp;
const unsigned short RES_SHIFT = TEMP_RESOLUTION - 8;
char temp_whole;
unsigned int temp_fraction;
unsigned int temp2write;

    //--- Perform temperature reading
    Ow_Reset(&PORTE, 2); // Onewire reset
signal
    Ow_Write(&PORTE, 2, 0xCC); // Issue command
SKIP_ROM
    Ow_Write (&PORTE, 2, 0x44); // Issue command
CONVERT_T
    Delay_us(120);

    Ow_Reset(&PORTE, 2);
    Ow_Write(&PORTE, 2, 0xCC); // Issue command
SKIP_ROM
    Ow_Write(&PORTE, 2, 0xBE); // Issue command
READ_SCRATCHPAD

    temp = Ow_Read(&PORTE, 2);
    temp = (Ow_Read(&PORTE, 2) << 8) + temp;

    temp2write = temp;

    // Check if temperature is negative
    if (temp2write & 0x8000) {
        text[0] = '-';
        temp2write = ~temp2write + 1;
    }

    // Extract temp_whole
    temp_whole = temp2write >> RES_SHIFT ;

    // Convert temp_whole to characters
    if (temp_whole/100)
        text[0] = temp_whole/100 + 48;
    else
        text[0] = '0';

    text[1] = (temp_whole/10)%10 + 48; // Extract tens digit
    text[2] = temp_whole%10 + 48; // Extract ones digit

    return temp_whole;
}

```

```

int  temperatura_motor(){

const unsigned short TEMP_RESOLUTION = 9; //poner 12
char *text = "000";
unsigned temp;
const unsigned short RES_SHIFT = TEMP_RESOLUTION - 8;
char temp_whole;
unsigned int temp_fraction;
unsigned int temp2write;

    //--- Perform temperature reading
    Ow_Reset(&PORTA, 5); // Onewire reset
signal
    Ow_Write(&PORTA, 5, 0xCC); // Issue command
SKIP_ROM
    Ow_Write(&PORTA, 5, 0x44); // Issue command
CONVERT_T
    Delay_us(120);

    Ow_Reset(&PORTA, 5);
    Ow_Write(&PORTA, 5, 0xCC); // Issue command
SKIP_ROM
    Ow_Write(&PORTA, 5, 0xBE); // Issue command
READ_SCRATCHPAD

    temp = Ow_Read(&PORTA, 5);
    temp = (Ow_Read(&PORTA, 5) << 8) + temp;

    temp2write = temp;

    // Check if temperature is negative
    if (temp2write & 0x8000) {
        text[0] = '-';
        temp2write = ~temp2write + 1;
    }

    // Extract temp_whole
    temp_whole = temp2write >> RES_SHIFT ;

    // Convert temp_whole to characters
    if (temp_whole/100)
        text[0] = temp_whole/100 + 48;
    else
        text[0] = '0';

    text[1] = (temp_whole/10)%10 + 48; // Extract tens digit
    text[2] = temp_whole%10 + 48; // Extract ones digit

    return temp_whole;
}

int  luz(){

    unsigned int ilumina;
    int  light;

```

```

ilumina = ADC_Read(2);    // Get 10-bit results of AD conversion
ilumina = ilumina>>2;    // Send lower 8 bits to PORTB

if (ilumina < 50)
    light = 1;
if ((ilumina >50) && (ilumina < 130))
    light = 3;
if ((ilumina >130) && (ilumina<200))
    light = 7;
if (ilumina > 200)
    light = 15;

return light;

}

int battery(){
    int nivel;
    int indi=0;

    // PORTC.F0 = 1;
    // delay_ms(50);
    nivel = PORTB;
    // PORTC.F0 = 0;
    // delay_ms(50);
    if (nivel <= 1)
        indi = 0;
    if (nivel == 3)
        indi = 1;
    if (nivel == 7)
        indi = 2;
    if (nivel == 15)
        indi = 3;

return indi ;

}

int corriente_panel(){

    unsigned int corriente;
    int amp;
    corriente = 0;
    amp = 0;
    corriente = ADC_Read(1);    // Get 10-bit results of AD conversion

    if (corriente <120)
        return 0;

    corriente = corriente >> 2;
    //corriente = (5* corriente)-635;
    //corriente = corriente -125;
    // corriente = corriente *4;

```

```

    amp = corriente;
    return amp;
}

int corriente_batt(){
    unsigned int corriente;
    int amp;
    corriente = 0;
    amp = 0;
    corriente = ADC_Read(3);    // Get 10-bit results of AD conversion

    if (corriente <120)
        return 0;

    corriente = corriente >> 2;

    amp = corriente;
    return amp;
}

int nivel(){
    int nivel=0;
    int indi=0;

    nivel = PORTD;

    if (nivel <= 3)
        indi = 0;
    if ((nivel >3) && (nivel <= 6))
        indi = 1;
    if ((nivel >6) && (nivel <= 12))
        indi = 3;
    if ((nivel >12) && (nivel <= 24))
        indi = 7;
    if ((nivel >24) && (nivel <= 48))
        indi = 15;
    if ((nivel >48) && (nivel <= 96))
        indi = 31;
    if (nivel >96)
        indi = 63;

    return indi ;
}

int velocidad(){
    unsigned int speed;

```

```

    int rpm;
    speed = 0;
    rpm = 0;
    speed = ADC_Read(0);    // Get 10-bit results of AD conversion

    // if (corriente <120)
    //   return 0;

    speed = speed >> 2;
    //corriente = (5* corriente)-635;
    //corriente = corriente -125;
    // corriente = corriente *4;

    rpm = speed;
    return rpm;
}

void enviar (unsigned int temp_ambiente, unsigned int temp_motor, int
luz, int bateria, unsigned int amp_panel, unsigned int amp_batt,
unsigned int tanque, unsigned int rpm ){

    UART1_Write(temp_ambiente);
    UART1_Write(temp_motor);
    UART1_Write(luz);
    UART1_Write(bateria);
    UART1_Write(amp_panel);
    UART1_Write(amp_batt);
    UART1_Write(tanque);
    UART1_Write(rpm);
}

void main() {
    unsigned int temp_motor, temp_ambiente, amp_panel, amp_batt, tanque,
rpm;
    int light, batt;

    temp_motor      = 0;
    temp_ambiente   = 0;
    light           = 0;
    batt            = 0;
    amp_panel       = 0;
    amp_batt        = 0;
    tanque          = 0;
    rpm             = 0;
}

```

```

    ANSEL = 31; // Configure AN pins
as digital I/O
    ANSELH = 0;
    C1ON_bit = 0; // Disable comparators
    C2ON_bit = 0;

    TRISA = 0;
    TRISA0_bit = 1;
    TRISA1_bit = 1;
    TRISA2_bit = 1;
    TRISA3_bit = 1;
    TRISA4_bit = 1;
    TRISA5_bit = 1;
    TRISB = 0;
    TRISC = 0;

    TRISB0_bit = 1;
    TRISB1_bit = 1;
    TRISB2_bit = 1;
    TRISB3_bit = 1;
    TRISC0_bit = 0;
    TRISD = 0xFF;
    TRISE = 0;
    TRISE2_bit = 1;

    PORTA = 0;
    PORTB = 0;
    PORTC = 0;
    PORTD = 0;
    PORTE = 0;

    UART1_Init(9600); // Initialize UART module at 9600 bps
    Delay_ms(100); // Wait for UART module to stabilize

do {
    PORTC.F0 = 0;

    temp_ambiente = temperatura_ambiente();
    temp_motor = temperatura_motor();
    light = luz();
    batt = battery();
    amp_panel = corriente_panel();
    amp_batt = corriente_batt();
    tanque = nivel();
    rpm = velocidad();

//PORTC = temp_ambiente;
//PORTD = temp_motor;
//PORTC = light;
//PORTC = batt;

```

G. ANEXO DEL MÓDULO DE COMPUTADORA CENTRAL

Código PIC18F4520, uso de GLCD, RFID y SD

```
//Conexiones para módulos auxiliares

//-----

char GLCD_DataPort at PORTD;

sbit GLCD_CS1 at RA4_bit; //COLOCAR RA4 CAMBIAR OSC, Y ELIMINAR COMENTS

sbit GLCD_CS2 at RA1_bit; //COLOCAR RA1

sbit GLCD_RS at RA2_bit; //COLOCAR RA2

sbit GLCD_RW at RA3_bit; //COLOCAR RA3

sbit GLCD_EN at RB4_bit;

sbit GLCD_RST at RB5_bit;

sbit GLCD_CS1_Direction at TRISA4_bit;

sbit GLCD_CS2_Direction at TRISA1_bit;

sbit GLCD_RS_Direction at TRISA2_bit;

sbit GLCD_RW_Direction at TRISA3_bit;

sbit GLCD_EN_Direction at TRISB4_bit;

sbit GLCD_RST_Direction at TRISB5_bit;

sbit Mmc_Chip_Select at LATC0_bit;

sbit Mmc_Chip_Select_Direction at TRISC0_bit;

sbit OUT at RB0_bit;

sbit RDY_CLK at RB1_bit;

sbit SHD at RB2_bit;

sbit MOD at RB3_bit;

sbit OUT_Direction at TRISB0_bit;

sbit RDY_CLK_Direction at TRISB1_bit;

sbit SHD_Direction at TRISB2_bit;

sbit MOD_Direction at TRISB3_bit;

//-----

//Variables para el RFID
```

```
//-----  
unsigned short sync_flag,  
    one_seq,  
    data_in,  
    cnt,  
    cnt1, cnt2;  
unsigned short data_index;  
char i;  
char _data[256];  
char data_valid[64];  
char bad_synch;  
char desp[3];  
//-----  
  
int yinicial =0;  
char revisar=0;  
int ladoActual =0;  
char character;  
unsigned int loop, loop1;  
unsigned char mmc_error;  
unsigned char pag = 0;  
unsigned char lado=0;  
unsigned char x =0;  
unsigned char banderaSwitch;  
char var[512];  
unsigned char flag =1;  
unsigned char codigo;  
unsigned char datoRecibido;  
unsigned char contador=0;  
int direccionLectura=0;  
unsigned char Temperatura,Nivel,Velocidad,CargaBat,CargaBat1,Isolar,Corriente,TempMotor;  
unsigned char contadorRecibir;
```

```
unsigned char dirSol;
unsigned char dirVel;
unsigned char dirEnergy;
unsigned char dirBat;
unsigned char dirTemp;
unsigned char dirDespliegue;
const unsigned char Sol0 = 0;
const unsigned char Sol1 = 2;
const unsigned char Sol2 = 4;
const unsigned char Sol3 = 6;
const unsigned char Sol4 = 106;
const unsigned char vel0= 8;
const unsigned char vel5= 10;
const unsigned char vel6= 12;
const unsigned char vel8= 14;
const unsigned char vel10= 16;
const unsigned char vel11= 18;
const unsigned char vel12= 20;
const unsigned char vel13= 22;
const unsigned char vel15= 24;
const unsigned char vel16= 26;
const unsigned char vel17= 28;
const unsigned char vel18= 30;
const unsigned char vel19= 32;
const unsigned char vel20= 34;
const unsigned char batcon0 =36;
const unsigned char batcon1 =38;
const unsigned char batcon2 =40;
const unsigned char batcon3 =42;
const unsigned char batcon4 =44;
const unsigned char e00 = 46;
const unsigned char e01 = 48;
```

```
const unsigned char e02 = 50;
const unsigned char e03 = 52;
const unsigned char e04 = 54;
const unsigned char e10 = 56;
const unsigned char e11 = 58;
const unsigned char e12 = 60;
const unsigned char e13 = 62;
const unsigned char e14 = 64;
const unsigned char e20 = 66;
const unsigned char e21 = 68;
const unsigned char e22 = 70;
const unsigned char e23 = 72;
const unsigned char e24 = 74;
const unsigned char e30 = 76;
const unsigned char e31 = 78;
const unsigned char e32 = 80;
const unsigned char e33 = 82;
const unsigned char e34 = 84;
const unsigned char e40 = 86;
const unsigned char e41 = 88;
const unsigned char e42 = 90;
const unsigned char e43 = 92;
const unsigned char e44 = 94;
const unsigned char temp0 = 96;
const unsigned char temp1 = 98;
const unsigned char temp2 = 100;
const unsigned char temp3 = 102;
const unsigned char temp4 = 104;
```

```
// Imagenes constantes
```

```
//-----
```



```

136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0,
136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0,
136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0,
136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0, 136, 0, 34, 0

```

```
};
```

```
// -----
```

```
void Interrupt() {
```

```
    if(RCIF_bit)
```

```
    {
```

```
        {
```

```
            while(UART1_Data_Ready()==0)
```

```
            {
```

```
                asm{nop};
```

```
            }
```

```
            switch(contadorRecibir)
```

```
            {
```

```
                case 0: Temperatura = UART1_read(); break;
```

```
                case 1: Nivel = UART1_read(); break;
```

```
                case 2: Velocidad = UART1_read();break;
```

```
                case 3: CargaBat1 = UART1_read(); break;
```

```
                case 4: TempMotor = UART1_read(); break;
```

```
                case 5: Isolar = UART1_read(); break;
```

```
                case 6: Corriente = UART1_read(); break;
```

```
            }
```

```
        }
```

```
        contadorRecibir++;
```

```
        if(contadorRecibir>=7)
```

```
            contadorRecibir=0;
```

```

RCIF_bit=0;

}

// This is external INT1 interrupt (for sync and sample)
// it is enabled until we get 128 data bits

if (INT1IF_bit && INT1IE_bit) {

    cnt++;          // count interrupts on INT1 pin (RB1)

    INT1IF_bit = 0;

}

// This is external INTO interrupt (for sync start)
// - once we get falling edge on RB0 we are disabling INTO interrupt

else if (INT0IF_bit && INTOIE_bit) {

    cnt = 0;

    sync_flag = 1;

    INTOIF_bit = 0;

    INTOIE_bit = 0;

    INT1IF_bit = 0;

    INT1IE_bit = 1;

}

}

char CRC_Check(char *bit_array) {

char row_count, row_bit, column_count;

char row_sum, column_sum;

char row_check[5];

char column_check[11];

// row parity check:

row_count = 9;          // count rows

while (row_count < 59) {

```

```

column_count = 0;          // count columns
while (column_count < 5) {
    row_check[column_count] = bit_array[row_count+column_count];
    column_count++;
}

row_bit = 0;              // count row bits
row_sum = 0;
while (row_bit < 4) {
    row_sum = row_sum + row_check[row_bit];
    row_bit++;
}

if (row_sum.B0 != row_check[4].B0) {
    return 0;
}

row_count = row_count + 5;
}

// end row parity check

// column parity check
column_count = 9;        // count columns
while (column_count < 13) {
    row_bit = 0;          // count column bits
    row_count = 0;        // count rows
    while (row_bit < 11) {
        column_check[row_bit] = bit_array[column_count+row_count];
        row_bit++;
        row_count = row_count + 5;
    }

    row_bit = 0;          // count column bits
    column_sum = 0;

```

```

while (row_bit < 10) {

    column_sum = column_sum + column_check[row_bit];

    row_bit++;

}

if (column_sum.B0 != column_check[10].B0) {

    return 0;

}

column_count++;

}

// end column parity check

if (bit_array[63] == 1) {

    return 0;

}

return 1;

}

void pintar(int direccion){

//Inicializar SD

Mmc_init();

flag=1;

//Leer la primera mitad de la imagen, si hay error en la lectura

//Desplegar en la pantalla.

mmc_error = Mmc_read_sector(direccion,var);

if(mmc_error==0)

flag=0;

else

{

GLCD_fill(0x00);

GLCD_write_text("Insertar",5,2,1);

GLCD_write_text("Correctamente",5,3,1);

GLCD_write_text("SD",5,4,1);

```

```
return;

}

//Setear como activo el lado izquierdo, la página 0, y posición en x=0

lado=0;

pag =0;

x=0;

Glcd_set_side(lado);

Glcd_set_page(pag);

Glcd_set_x(x);

//Se recorre la matriz de la imagen

for(loop =0;loop<=512;loop++)

{

    //si es un multiplo de 64 cambiar de lado y poner

    //la posición en x=0.

    if(loop%64==0&&loop!=0)

    {

        if(lado==0)

            lado=125;

        else

            lado=0;

        x=0;

        //Si además es un múltiplo de 128 incrementar la página.

        if(loop%128==0)

            pag++;

        Glcd_set_side(lado);

        Glcd_set_page(pag);

        Glcd_set_x(x);

    }

    //Mandar el byte a la GLCD

    Glcd_Write_Data(var[loop]);

}

//Leer la otra mitad de la imagen y desplegar en pantalla si hay error
```

```
mmc_error = Mmc_read_sector(direccion+1,var);

if(mmc_error==0)

flag=0;

else

{

GLCD_fill(0x00);

GLCD_write_text("Insertar",5,2,1);

GLCD_write_text("Correctamente",5,3,1);

GLCD_write_text("SD",5,4,1);

return;

}

//Se empieza con la página 4 y se repite el proceso

lado=0;

pag =4;

x=0;

Glcd_set_side(lado);

Glcd_set_page(pag);

Glcd_set_x(x);

for(loop =0;loop<=512;loop++)

{

if(loop%64==0&&loop!=0)

{

if(lado==0)

lado=125;

else

lado=0;

x=0;

if(loop%128==0)

pag++;

Glcd_set_side(lado);

Glcd_set_page(pag);

Glcd_set_x(x);
```

```
    }  
    Glcd_Write_Data(var[loop]);  
  }  
  
}  
  
void CambioImagen()  
{  
  if(Isolar==0)  
  {dirSol = Sol0;}  
  if(Isolar==1)  
  {dirSol = Sol1;}  
  if(Isolar==3)  
  {dirSol = Sol2;}  
  if(Isolar==7)  
  {dirSol = Sol3;}  
  if(Isolar==15)  
  {dirSol = Sol4;}  
  
  if(CargaBat1==0&&Nivel==63)  
  dirEnergy=e04;  
  if(CargaBat1==0&&Nivel==15)  
  dirEnergy=e03;  
  if(CargaBat1==0&&Nivel==7)  
  dirEnergy=e02;  
  if(CargaBat1==0&&Nivel==3)  
  dirEnergy=e01;  
  if(CargaBat1==0&&Nivel==0)  
  dirEnergy=e00;  
  
  if(CargaBat1==1&&Nivel==63)  
  dirEnergy=e14;  
  if(CargaBat1==1&&Nivel==15)
```

```
dirEnergy=e13;
if(CargaBat1==1&&Nivel==7)
dirEnergy=e12;
if(CargaBat1==1&&Nivel==3)
dirEnergy=e11;
if(CargaBat1==1&&Nivel==0)
dirEnergy=e10;

if(CargaBat1==2&&Nivel==63)
dirEnergy=e24;
if(CargaBat1==2&&Nivel==15)
dirEnergy=e23;
if(CargaBat1==2&&Nivel==7)
dirEnergy=e22;
if(CargaBat1==2&&Nivel==3)
dirEnergy=e21;
if(CargaBat1==2&&Nivel==0)
dirEnergy=e20;

if(CargaBat1==3&&Nivel==63)
dirEnergy=e34;
if(CargaBat1==3&&Nivel==15)
dirEnergy=e33;
if(CargaBat1==3&&Nivel==7)
dirEnergy=e32;
if(CargaBat1==3&&Nivel==3)
dirEnergy=e31;
if(CargaBat1==3&&Nivel==0)
dirEnergy=e30;

if(tempMotor<=5)
dirTemp = Temp0;
```

```
if(tempMotor>5&&tempMotor<30)
dirTemp = Temp1;
if(tempMotor>=30&&tempMotor<60)
dirTemp = Temp2;
if(tempMotor>=60&&tempMotor<93)
dirTemp = Temp3;
if(tempMotor>=93&&tempMotor<125)
dirTemp = Temp4;

if(Velocidad<5)
dirVel = vel0;
if(Velocidad>5&&Velocidad<18)
dirVel = vel5;
if(Velocidad>=18&&Velocidad<36)
dirVel = vel6;
if(Velocidad>=36&&Velocidad<54)
dirVel = vel8;
if(Velocidad>=54&&Velocidad<72)
dirVel = vel10;
if(Velocidad>=72&&Velocidad<91)
dirVel = vel11;
if(Velocidad>=91&&Velocidad<109)
dirVel = vel12;
if(Velocidad>=109&&Velocidad<127)
dirVel = vel13;
if(Velocidad>=127&&Velocidad<145)
dirVel = vel15;
if(Velocidad>=145&&Velocidad<163)
dirVel = vel16;
if(Velocidad>=163&&Velocidad<182)
dirVel = vel17;
if(Velocidad>=182&&Velocidad<200)
```

```

dirVel = vel18;

if(Velocidad>=200&&Velocidad<218)

dirVel = vel19;

if(Velocidad>=218)

dirVel = vel20;

}

void main() {

ADCON1 |= 0x0F;          // Configure AN pins as digital

CMCON  |= 7;           // Turn off comparators

TRISA =0x00;

OUT_Direction = 1;

RDY_CLK_Direction = 1;

SHD_Direction = 0;

MOD_Direction = 0;

TRISE = 0b00000010;

PORTE =0X00;

PORTA.f5 =0;

SHD = 0;

MOD = 0;

sync_flag = 0;          // sync_flag is set when falling edge on RB0 is detected

one_seq = 0;           // counts the number of 'logic one' in series

data_in = 0;           // gets data bit

data_index = 0;        // marks position in data array

cnt = 0;               // interrupt counter

cnt1 = 0;              // auxiliary counter

cnt2 = 0;              // auxiliary counter

TRISC =0xFF;

SPI1_Init_Advanced(_SPI_MASTER_OSC_DIV64,          _SPI_DATA_SAMPLE_MIDDLE,          _SPI_CLK_IDLE_LOW,
_SPI_LOW_2_HIGH);

delay_ms(100);

```

```

Mmc_Init();

delay_ms(100);

Glcd_init();

INTEDG0_bit = 0;      // Interrupt on falling edge on RB0

INTEDG1_bit = 1;      // Interrupt on rising edge on RB1

INT0IF_bit = 0;      // Clear INT0IF

INT1IF_bit = 0;      // Clear INT1IF

INT0IE_bit = 0;      // turn OFF interrupt on INT0

INT1IE_bit = 0;      // turn OFF interrupt on INT1

GIE_bit = 1;         // enable GIE

Glcd_fill(0x00);

Glcd_image(1lave0);

while (flag==1) {

    bad_synch = 0;      // set bad synchronization variable to zero

    cnt = 0;           // reseting interrupt counter

    sync_flag = 0;     // reseting sync flag

    INT1IF_bit = 0;

    INT1IE_bit = 0;    // disable external interrupt on RB1 (for sync and sample)

    INT0IF_bit = 0;

    INT0IE_bit = 1;    // enable external interrupt on RB0 (start sync procedure)

    while (sync_flag == 0) { // waiting for falling edge on RB0

        asm nop

    }

    while (cnt != 16) { // waiting 16 clocks on RB1 (positioning for sampling)

        asm nop

    }

    cnt = 0;

```

```

_data[0] = OUT & 1;

for (data_index = 1; data_index != 0; data_index++) { // getting 128 bits of data from RB0
    while (cnt != 32) { // getting bit from RB0 every 32 clocks on RB1
        asm nop
    }
    cnt = 0; // resetting interrupt counter
    _data[data_index] = OUT & 1; // getting bit
    if(data_index & 1)
        if (!(_data[data_index] ^ _data[data_index-1]))
        {
            bad_synch = 1;
            break; //bad synchronisation
        }
    }

INT1IE_bit = 0; // disable external interrupt on RB1 (for sync and sample)
if (bad_synch)
    continue; // try again
cnt1 = 0;
one_seq = 0;
for(cnt1 = 0; cnt1 <= 127; cnt1++) { // we are counting 'logic one' in the data array
    if (_data[cnt1 << 1] == 1) {
        one_seq++;
    }
    else {
        one_seq = 0;
    }

    if (one_seq == 9) { // if we get 9 'logic one' we break from the loop
        break;
    }
}

```

```

} // (the position of the last 'logic one' is in the cnt1)

if ((one_seq == 9) && (cnt1 < 73)) { // if we got 9 'logic one' before cnt1 position 73

    // we write that data into data_valid array

    data_valid[0] = 1; // (it has to be before cnt1 position 73 in order
    data_valid[1] = 1; // to have all 64 bits available in data array)
    data_valid[2] = 1;
    data_valid[3] = 1;
    data_valid[4] = 1;
    data_valid[5] = 1;
    data_valid[6] = 1;
    data_valid[7] = 1;
    data_valid[8] = 1;

    for(cnt2 = 9; cnt2 <= 63; cnt2++) { // copying the rest of data from the data array into data_valid array

        cnt1++;

        data_valid[cnt2] = _data[cnt1 << 1];

    }

    if (CRC_Check(data_valid) == 1) { // if data in data_valid array pass the CRC check

        if(data_valid[63])
            codigo.f0=1;
        else
            codigo.f0=0;

        if(data_valid[62])
            codigo.f1=1;
        else
            codigo.f1=0;

        if(data_valid[61])
            codigo.f2=1;
        else
            codigo.f2=0;

        if(data_valid[60])

```

```
codigo.f3=1;

else

codigo.f3=0;

if(data_valid[59])

codigo.f4=1;

else

codigo.f4=0;

if(data_valid[58])

codigo.f5=1;

else

codigo.f5=0;

if(data_valid[57])

codigo.f6=1;

else

codigo.f6=0;

if(data_valid[56])

codigo.f7=1;

else

codigo.f7=0;

if(codigo==0xfc)

{

PORTA.F5 = 1;

delay_ms(600);

PORTA.F5 = 0;

flag=0;

}

else{

Glcd_image(llaveno);

PORTA.F5=1;

delay_ms(100);

PORTA.F5=0;

delay_ms(100);
```



```
TRISB.B7=1;

TRISA.B0=1;

contadorRecibir=0;

Glcd_fill(0x00);

Glcd_Write_Text("Dato",1,0,1);

dirSol=0;

dirVel=8;

dirEnergy=46;

dirBat=36;

dirTemp=96;

dirDespliegue=dirSol;

while(1){

    CambioImagen();

    if(PORTA.B0==1)

    {

        switch(contador)

        {

            case 0:dirDespliegue=dirSol;break;

            case 1:dirDespliegue=dirBat;break;

            case 2:dirDespliegue=dirVel;break;

            case 3:dirDespliegue=dirTemp;break;

            case 4:dirDespliegue=dirEnergy;break;

        }

        contador++;

        if(contador==5)

            contador=0;

    }

    pintar(dirDespliegue);
```

}

}

Código PIC 16F887 manejo de LCD y RTC

```
// LCD module connections

sbit LCD_RS at RB4_bit;

sbit LCD_EN at RB5_bit;

sbit LCD_D4 at RD7_bit;

sbit LCD_D5 at RB1_bit;

sbit LCD_D6 at RB2_bit;

sbit LCD_D7 at RB3_bit;

sbit LCD_RS_Direction at TRISB4_bit;

sbit LCD_EN_Direction at TRISB5_bit;

sbit LCD_D4_Direction at TRISD7_bit;

sbit LCD_D5_Direction at TRISB1_bit;

sbit LCD_D6_Direction at TRISB2_bit;

sbit LCD_D7_Direction at TRISB3_bit;

//-----

// Variables necesarias para el programa

int *pointer;

int segundos, minutos, horas, diasemana,dia, mes, ano;

char *txt;

char banderaEnable=1;

int valorOdo,valorOdoGuardar,valorOdoLeido;

int valorTripA,valorTripB,valorTripC;

int valorTemp;

char valorDesp;

unsigned char Temperatura,Nivel,Velocidad,CargaBat,CargaBat1,Isolar,Corriente;

unsigned int varEnvio;

unsigned char bandera,bandera2;
```

```
unsigned char banderaLectura;

unsigned char datoRecibido;

unsigned char contadorRecibir;

unsigned char contadorCambio;

unsigned char banderaCambioGLCD;

unsigned char direccionGuardar;

char velPromedio;

char temporal;

//-----

//Constantes

int const mascara = 0x0F;

int const mascara2 = 0x70;

unsigned long segundosRecorridos;

int minutosRecorridos;

//Procedimiento encargado de refrescar las variables del reloj

void interrupt()

{

if(INTF_bit==1)

{

contadorCambio++;

if(contadorCambio>=5)

{

banderaCambioGLCD=1;

contadorCambio=0;

}

segundosRecorridos++;

velPromedio= (velPromedio+velocidad)/2;

banderaLectura=1;

INTF_bit=0;

}

if(RCIF_bit==1)
```

```
{
while(UART1_Data_Ready()==0)
{
asm{nop};
}
switch(contadorRecibir)
{
case 0: Temperatura = UART1_read(); break;
case 1: Nivel = UART1_read(); break;
// case 2: Velocidad = UART1_read();break;
case 3: CargaBat = UART1_read(); break;
case 4: CargaBat1 = UART1_read(); break;
case 5: Isolar = UART1_read(); break;
case 6: Corriente = UART1_read(); break;
}

contadorRecibir++;
if(contadorRecibir>=7)
contadorRecibir=0;
RCIF_bit=0;
}
}

void LeerRTC()
{
I2C1_Start();
I2C1_Wr(0xD0);
I2C1_Wr(0);
I2C1_Repeated_Start();
I2C1_Wr(0xD1);
segundos = I2C1_rd(1);
minutos = I2C1_rd(1);
```

```
horas = I2C1_rd(1);  
diasemana = I2C1_rd(1);  
dia = I2C1_rd(1);  
mes = I2C1_rd(1);  
ano = I2C1_rd(0);  
I2C1_stop();  
  
}
```

```
void InicializarModulos()  
{  
I2C1_Init(100000);  
Lcd_Init();  
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);  
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);  
valorOdo=0;  
valorTemp=0;  
valorTripA=0;  
valorTripB=0;  
valorTripC=0;  
  
}
```

```
void DesplegarHoraFecha()  
{  
PORTB.F7 = 0;  
PORTB.F6 = 1;  
Lcd_Chr(2,2,valorTemp/10+48);  
Lcd_Chr(2,3,valorTemp%10+48);  
Lcd_Out(2,4,"°C");
```

```
switch(diasemana)
```

```

{
case 1: txt="Dom"; break;
case 2: txt="Lun"; break;
case 3: txt="Mar"; break;
case 4: txt="Mie"; break;
case 5: txt="Jue"; break;
case 6: txt="Vie"; break;
case 7: txt="Sab"; break;
}

Lcd_out(1,3,txt);

minutos = Bcd2Dec((minutos& mascara2)>>4)*10 + Bcd2Dec(minutos& mascara);

Lcd_Chr(2,15,minutos/10+48);
Lcd_Chr(2,16,minutos%10+48);

horas = Bcd2Dec((horas&0x30)>>4)*10 + Bcd2Dec(horas& mascara);
Lcd_Chr(2,12,horas/10+48);
Lcd_Chr(2,13,horas%10+48);

dia = Bcd2Dec((dia&0x30)>>4)*10 + Bcd2Dec(dia& mascara);
Lcd_Chr(1,7,dia/10+48);
Lcd_Chr(1,8,dia%10+48);
Lcd_Chr(1,9,');

mes = Bcd2Dec((mes&0x10)>>4)*10 + Bcd2Dec(mes& mascara);
Lcd_Chr(1,10,mes/10+48);
Lcd_Chr(1,11,mes%10+48);

ano = Bcd2Dec((ano&0x10)>>4)*10 + Bcd2Dec(ano& mascara);
Lcd_Chr(1,12,');
Lcd_Chr(1,13,ano/10+48);
Lcd_Chr(1,14,ano%10+48);

}

void odometro()
{
//

```

```
int intermedio1;

int intermedio2;

int intermedio3;

char guardado;

PORTB.F7 = 1;

PORTB.F6 = 0;

valorOdoGuardar = velPromedio*segundosRecorridos*0.28;

valorOdo = valorOdoLeido+valorOdoGuardar;

if(valorOdo>=9999)

valorOdo=0;

Lcd_Out(2,14,"ODO");

intermedio1 = valorOdo/1000;

Lcd_Chr(1,1,intermedio1+48);

intermedio2 = valorOdo - intermedio1*1000;

intermedio2 = intermedio2/100;

Lcd_Chr(1,2,intermedio2+48);

intermedio3 = valorOdo - intermedio2*100-intermedio1*1000;

intermedio3 = intermedio3/10;

Lcd_Chr(1,3,intermedio3+48);

Lcd_Chr(1,4,(valorOdo%10)+48);

if(valorOdoGuardar>5)

{

guardado= valorOdo;

EEPROM_write(0,guardado);

guardado = valorOdo>>8;

delay_ms(20);

EEPROM_write(1,guardado);

delay_ms(20);
```

```
segundosRecorridos=0;

valorOdoleido=valorOdo;

}

}

void CambiarHora()

{

int contador =0;

int bandera = 0;

int bcdmin =0;

int bcdhor =0;

int bcddia =0;

int bcdmes =0;

int bcdano =0;

int bcddsem =0;

GIE_bit=0;

PORTB.F7 = 0;

PORTB.F6 = 1;

Lcd_Chr(2,14,':');

while(bandera==0)

{

Lcd_Chr(2,15,' ');

Lcd_Chr(2,16,' ');

Delay_ms(65);

Lcd_Chr(2,15,minutos/10+48);

Lcd_Chr(2,16,minutos%10+48);

Delay_ms(65);

if(PORTE.F1==1)

{

minutos++;
```

```
if(minutos==60)

minutos=0;

}

if(PORTE.F0==1)

{

bandera=1;

}

}

bandera=0;

while(bandera==0)

{

Lcd_Chr(2,12,' ');

Lcd_Chr(2,13,' ');

Delay_ms(65);

Lcd_Chr(2,12,horas/10+48);

Lcd_Chr(2,13,horas%10+48);

Delay_ms(65);

if(PORTE.F1==1)

{

horas++;

if(horas==24)

horas=0;

}

if(PORTE.F0==1)

{

bandera=1;

}

}

bandera=0;

while(bandera==0)

{

Lcd_Chr(1,7,' ');
```

```
Lcd_Chr(1,8,' ');
Delay_ms(65);
Lcd_Chr(1,7,dia/10+48);
Lcd_Chr(1,8,dia%10+48);
Delay_ms(65);
if(PORTE.F1==1)
{
dia++;
if(dia==32)
dia=1;
}
if(PORTE.F0==1)
{
bandera=1;
}
}
bandera=0;
while(bandera==0)
{
Lcd_Chr(1,10,' ');
Lcd_Chr(1,11,' ');
Delay_ms(65);
Lcd_Chr(1,10,mes/10+48);
Lcd_Chr(1,11,mes%10+48);
Delay_ms(65);
if(PORTE.F1==1)
{
mes++;
if(mes>=13)
mes=1;
}
if(PORTE.F0==1)
```

```
{  
  bandera=1;  
}  
}  
  
bandera=0;  
while(bandera==0)  
{  
  Lcd_Chr(1,13,' ');  
  Lcd_Chr(1,14,' ');  
  Delay_ms(65);  
  Lcd_Chr(1,13,ano/10+48);  
  Lcd_Chr(1,14,ano%10+48);  
  Delay_ms(65);  
  if(PORTE.F1==1)  
  {  
    ano++;  
    if(ano==100)  
    ano=0;  
  }  
  if(PORTE.F0==1)  
  {  
    bandera=1;  
    contador++;  
  }  
}  
  
bandera=0;  
while(bandera==0)  
{  
  Lcd_Chr(1,3,' ');  
  Lcd_Chr(1,4,' ');  
  Lcd_Chr(1,5,' ');
```

```
Delay_ms(65);

Lcd_out(1,3,txt);

Delay_ms(65);

if(PORTE.F1==1)

{

diasemana++;

if(diasemana==8)

diasemana=1;

}

switch(diasemana)

{

case 1: txt="Dom"; break;

case 2: txt="Lun"; break;

case 3: txt="Mar"; break;

case 4: txt="Mie"; break;

case 5: txt="Jue"; break;

case 6: txt="Vie"; break;

case 7: txt="Sab"; break;

}

if(PORTE.F0==1)

{

bandera=1;

}

}

bcdmin = dec2bcd(minutos);

bcdmin = bcdmin&0x7F;

bcdhor = dec2bcd(horas);

bcdhor = bcdhor&0x3F;

bcdDia = dec2bcd(dia);

bcdDia = bcdDia&0x3F;

bcdmes = dec2bcd(mes);
```

```

bcdmes = bcdmes&0x1F;

bcdano = dec2bcd(ano);

bcdsem = dec2bcd(diasemana);

bcdsem = bcdsem&0x07;

I2C1_Start();    // issue start signal

I2C1_Wr(0xD0);   // address DS1307

I2C1_Wr(0);      // start from word at address (REG0)

I2C1_Wr(0x80);   // write $80 to REG0. (pause counter + 0 sec)

I2C1_Wr(bcdmin); // write 0 to minutes word to (REG1)

I2C1_Wr(bcdhor); // write 17 to hours word (24-hours mode)(REG2)

I2C1_Wr(bcdsem); // write 2 - Monday (REG3)

I2C1_Wr(bcdia);  // write 4 to date word (REG4)

I2C1_Wr(bcdmes); // write 5 (May) to month word (REG5)

I2C1_Wr(bcdano); // write 09 to year word (REG6)

I2C1_Wr(0x10);

I2C1_Stop();     // issue stop signal

I2C1_Start();    // issue start signal

I2C1_Wr(0xD0);   // address DS1307

I2C1_Wr(0);      // start from word at address 0

I2C1_Wr(0);      // write 0 to REG0 (enable counting + 0 sec)

I2C1_Stop();     // issue stop signal

GIE_bit=1;

}

void main() {

    ANSEL =0;

    ANSELH =0;

    TRISA = 0;

    TRISE = 0b00000011;

    TRISD = 0b01111111;

    TRISB=0x01;

    C1ON_bit = 0;           // Disable comparators

```

```

C2ON_bit = 0;

PORTB.B6 = 0;

PORTB.B7 = 0;

InicializarModulos();

delay_ms(100);

UART1_Init(9600);      // Initialize UART module at 9600 bps

Delay_ms(100);        // Wait for UART module to stabilize

GIE_bit=1;

RCIE_bit =1;

PEIE_bit=1;

INTE_bit=1;

varEnvio=0;

bandera=0;

bandera2=0;

contadorRecibir=0;

Temperatura = 5;

Nivel = 0x9a;

velPromedio=10;

Velocidad = 10;

segundosRecorridos=0;

valorOdoLeido = EEPROM_read(1);

delay_ms(30);

valorOdoLeido = valorOdoLeido<<8;

valorOdoLeido = valorOdoLeido + EEPROM_read(0);

while(1)
{
    if(banderaEnable==0)

        Lcd_chr(2,0,"f");

    else

        Lcd_chr(2,0,"a");
}

```

```
if(banderaCambioGLCD==1&&banderaEnable==1)
{
PORTA.B3 = 1;
delay_ms(50);
PORTA.B3=0;
banderaCambioGLCD=0;
}
if(PORTD.B6==1)
{
banderaEnable = ~banderaEnable;
contadorCambio=0;
delay_ms(200);
}
if(PORTD.B5==1)
{
PORTA.B3 = 1;
delay_ms(50);
PORTA.B3=0;
delay_ms(200);
}
if(banderaLectura==1)
{
PORTB.F7 = 0;
PORTB.F6 = 1;
if(segundos%2)
Lcd_Chr(2,14,':');
else
Lcd_Chr(2,14,' ');
LeerRtc();
Odometro();
DesplegarHoraFecha();
banderaLectura=0;
```

```
}

if(PORTE.B0==1)
{
delay_ms(200);
if(PORTE.B0==1)
cambiarHora();

}

if(PORTE.B1==1)
{
delay_ms(300);
if(PORTE.B1==1)
bandera2=1;

}

switch(contadorRecibir)
{
case 0: varEnvio = Temperatura; break;
case 1: varEnvio = Nivel; break;
case 2: varEnvio = Velocidad; break;
case 3: varEnvio = CargaBat; break;
case 4: varEnvio = CargaBat1; break;
case 5: varEnvio = Isolar; break;
case 6: varEnvio = Corriente; break;
}

UART1_Write(varEnvio);

if(UART1_tx_idle()==1)

continue;

delay_ms(1)
```


XVI. GLOSARIO

1. **Aislante:** Material no conductor utilizado para recubrir cables que tienen recubrimiento plástico para prevenir el contacto directo con otro cable o elemento conductor metálico.
2. **Bornera:** Elemento utilizado para el anclaje de cables externos la tarjeta de circuito impresa.
3. **Ciclo de trabajo:** Es la relación de la duración del impulso sobre el periodo. Es una medida del tiempo en el cual una señal cuadrada se mantiene en estado activo.
4. **CNC:** Control numérico computarizado o “Computer Numerical Control”. Es una máquina controlada por computadora capaz de realizar trabajos de maquinado.
5. **Corto eléctrico:** Un corto eléctrico es la unión directa de un cable conductor activo con el cable de neutro o tierra, ocasionando un alto consumo de corriente.
6. **Go-cart:** Es un vehículo de cuatro ruedas de menor tamaño a un vehículo convencional.
7. **Híbrido:** Que utiliza una mezcla de tecnologías para realizar una misma función.
8. **MCU:** Microcontroller. Microcontrolador
9. **Motor BDC:** Brushed Direct Current motor. Motor de corriente directa con escobillas.
10. **PCB:** Printed Circuit Board, Tarjeta de Circuito Impresa

- 11.PWM:** Pulse Width Modulation, Modulación por Ancho de Pulso.
- 12.RAM:** Random Access Memory, Memoria de Acceso Aleatorio.
- 13.Terminal:** Es una pieza utilizada para poder realizar el anclaje de un cable a otros dispositivos con el uso de un tornillo u otro artefacto sujetador.
- 14.Purga:** Consiste en eliminar un elemento que se considera malo o perjudicial. En el caso de purga de frenos se refiere a eliminar el aire dentro del sistema.
- 15.Bufas:** Elemento mecánico con que se sostiene la llanta de un vehículo por medio de pernos.
- 16.Mordazas, pinzas:** Es el soporte de las pastillas de freno y los émbolos encargados de ejercer presión sobre estas para frenar el disco.
- 17.Pastillas de freno:** Pieza de tamaño pequeño generalmente cuadrangular, hechas de asbesto, cerámicas o material metálico para frenar por medio de fricción.
- 18.Bomba de freno:** Consiste en un pistón que impulsa el líquido de frenos que ingresa en un agujero y al hacer la carrera de retorno lo devuelve por medio de otro.
- 19.Rótula:** Pieza situada entre otras permitiéndoles movimiento. En mecánica une las varillas, que gira el timón, con la bufa permitiéndoles un movimiento de rotación.
- 20.DOT 3:** Department of Transportation, designación para líquido de frenos de grado 3 con un punto de ebullición de aproximadamente 140 Celsius.
- 21.Voltaje nominal:** Es la magnitud del voltaje que una carga o fuente, considera como estándar para trabajar, donde el dispositivo consumirá o

proveerá esta magnitud si no se presenta ninguna perturbación en su entorno.

- 22. Batería:** un dispositivo electroquímico el cual almacena energía en forma química.
- 23. Relé:** es un interruptor electromecánico formado por un electroimán y un juego de contactos.
- 24. Alternador:** es un dispositivo en la cual transforma energía mecánica a energía eléctrica.
- 25. Sensor:** Un sensor o captador, como prefiera llamársele, no es más que un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.
- 26. Señal analógica:** Es un tipo de señal generada y que es representable por una función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo (representando un dato de información) en función del tiempo.
- 27. Señal digital:** Es un tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético en que cada signo que codifica el contenido de la misma puede ser analizado en término de algunas magnitudes que representan valores discretos, en lugar de valores dentro de un cierto rango.
- 28. PCB:** Printed Circuit Board. Placa de Circuito Impreso. Es el diseño de un circuito impreso en una placa de cobre.
- 29. LED:** Light Emitting Diode. Diodo emisor de luz.
- 30. Microcontrolador:** Es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y unidades de E/S (entrada/salida).

- 31. Altium Designer®:** Es un conjunto de programas para el diseño electrónico en todas sus fases y para todas las disciplinas, ya sean esquemas, simulación, diseño de circuitos impresos, implementación de FPGA, o desarrollo de código para microprocesadores.
- 32. Radiación solar:** Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol.
- 33. Corriente eléctrica:** Es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material.
- 34. Frecuencia:** Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.
- 35. Amplificador operacional:** Es un circuito electrónico que tiene dos entradas y una salida. La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor de ganancia.
- 36. Interruptor de láminas (Reed Switch):** es un interruptor eléctrico activado por un campo magnético. Cuando los contactos están normalmente abiertos se cierran en la presencia de un campo magnético; cuando están normalmente cerrados se abren en presencia de un campo magnético.
- 37. Híbrido:** Que utiliza una mezcla de tecnologías para realizar una misma función.
- 38. MCU:** Microcontroller. Microcontrolador.
- 39. PCB:** Printed Circuit Board, Tarjeta de Circuito Impresa.
- 40. LCD:** Pantalla de cristal líquido
- 41. GLCD:** Pantalla de cristal líquido gráfica.
- 42. RFID:** Sistema de identificación por radio

43. Transceptor: Módulo capaz de recibir y enviar señales de radio.

Nota:

Microchip®, PIC®, Mikroelektronika®, Altium Designer® y otros nombres mencionados en este trabajo son propiedad de sus compañías respectivas.

Todos los demás productos y nombres de corporaciones que aparecen en este documento pueden o no ser marcas registradas o poseer derechos de autor de sus respectivas compañías y sólo son usadas para identificación o explicación y para el beneficio del lector sin ninguna intención de infringir.