



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO Y MECATRÓNICO**

**AUTOR: HARO SALTOS, CARLOS WLADIMIR
YARAD JÁCOME, MÉLANY JAZMÍN**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
DE GENERACIÓN DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO
A TRAVÉS DE BIOMASA CONTROLADO
ELECTRÓNICAMENTE PARA SU APLICACIÓN EN UN
JEEP WILLYS 1974**

**DIRECTOR: ING. ROBERTO GUTIERREZ
CODIRECTOR: ING. PAÚL AYALA**

SANGOLQUÍ, 2013

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO A TRAVÉS DE BIOMASA CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE PARA SU APLICACIÓN EN UN JEEP WILLYS 1974**” fue realizado en su totalidad por la señorita MÉLANY JAZMÍN YARAD JÁCOME y el Sr. CARLOS WLADIMIR HARO SALTOS como requerimiento para la obtención del título de Ingeniera Mecatrónica e Ingeniero Mecánico respectivamente.

Ing. Roberto Gutiérrez
DIRECTOR

Ing. Paúl Ayala
CODIRECTOR

Sangolqui, 2013

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros: Mélany Jazmín Yarad Jácome y Carlos Wladimir Haro Saltos.

Declaramos que

El proyecto de grado titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO A TRAVÉS DE BIOMASA CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE PARA SU APLICACIÓN EN UN JEEP WILLYS 1974”**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme los autores constan al final de cada párrafo correspondiente.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido científico de proyecto de grado en mención.

Mélany Jazmín Yarad Jácome
CI: 171624299-3

Carlos Wladimir Haro Saltos
CI: 172024543-8

Sangolquí, 2013

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE
COMBUSTIBLE ALTERNATIVO A TRAVÉS DE BIOMASA CONTROLADO
ELECTRÓNICAMENTE PARA SU APLICACIÓN EN UN JEEP WILLYS
1974”**

Elaborado por:

Mélany Jazmín Yarad Jácome
CI: 171624299-3

Carlos Wladimir Haro Saltos
CI: 172024543-8

Ing. Luis Echeverría
DIRECTOR DE LA CARRERA DE
ING. MECATRÓNICA

Ing. Ángelo Villavicencio
DIRECTOR DE LA CARRERA DE
ING. MECÁNICA

Sangolqui, 2013

AUTORIZACIÓN

Nosotros: Mélany Jazmín Yarad Jácome y Carlos Wladimir Haro Saltos.

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO A TRAVÉS DE BIOMASA CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE PARA SU APLICACIÓN EN UN JEEP WILLYS 1974”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Mélany Jazmín Yarad Jácome
CI: 171624299-3

Carlos Wladimir Haro Saltos
CI: 172024543-8

Sangolquí, 2013

Dedicatoria

Dedico este proyecto de tesis primero a Dios, ya que sin Él nada es posible y a mi papito Berty, que a pesar de su partida junto al Señor, siempre lo sentí a mi lado como un angelito que cuida de mí en cada paso dado.

Mélany Jazmín Yarad Jácome

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia, principalmente a mis Padres y a mí Hermana, por haber confiado en mis habilidades y capacidades en cada una de las etapas de mi vida.

A Dios, por la salud, la fortaleza y la paz que me ha brindado en cada paso que di durante los momentos fáciles y difíciles de esta investigación.

A nuestros ángeles, a esos seres que partieron pero que hasta el último momento confiaron en nosotros, en que lograríamos nuestros objetivos y que desde el cielo nos dieron fuerza, paciencia y cariño para cumplir las metas trazada y que seguramente hoy desde donde estén nos acompañan en nuestra alegría.

CARLOS HARO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir, permitir que me realice como persona y llegar a cumplir un paso más en cuanto se refiere a mi vida como profesional.

A mis padres por ser mi ejemplo de vida y gran apoyo a cada instante, a ti papito David por siempre estar pendiente y preocupado de que todo esté bien, a ti mamita Normy por tus palabras de aliento y fuerza que ayudaron mucho para poder cumplir cada meta planteada a lo largo de mi vida. Los amo papitos lindos

A mi chiquita preciosa, amiga incondicional mi ñaña, por su apoyo absoluto, por estar ahí siempre a pesar de los malgenios y peripecias que pasamos como hermanas.

A mi mamita Hildy, que con sus bendiciones diarias estuvo ahí día a día, gracias por sus oraciones que ayudaron para que este proyecto llegue a su punto final; junto a ti papito Berty que mientras estuviste entre nosotros formaron una familia única y ejemplar.

A mi compañero de tesis Wladimir Haro, que a pesar de problemas tras problemas pudimos cumplir nuestro objetivo planteado, este es el primero de muchos. Gracias mi amor

A toda mi familia que directa o indirectamente puso su granito de arena durante mi formación profesional.

A mi Director de tesis, Ing. Roberto Gutiérrez y a mi Codirector, Ing. Paul Ayala quienes me apoyaron y guiaron durante toda la investigación y desarrollo del el presente trabajo.

Mélany Jazmín Yarad Jácome

AGRADECIMIENTO

A mis padres Carlos Haro y Martha Saltos, por su cariño, su comprensión, su apoyo y su sacrificio en todo momento, principalmente por haber confiado en mis aptitudes para culminar con mis ideales de la manera más satisfactoria.

A mi compañera de tesis Mélaney Yarad, que aunque con altas y bajas, fue un apoyo y el pilar fundamental de este desarrollo.

A todos mis maestros que se encargaron de guiarme y compartir sus conocimientos, para poderlos aplicar ahora en este desarrollo, principalmente a mi Director el Ing. Roberto Gutiérrez y mi Codirector el Ing. Paul Ayala que nos orientaron y apoyaron para culminar con nuestro investigación con la satisfacción de un trabajo bien hecho.

CARLOS HARO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iv
AUTORIZACIÓN	v
DEDICATORIA.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxv
CAPÍTULO 1	1
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	5
1.4. Alcance del proyecto.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Contexto de los Sistemas de Gasificación para aplicación en motores.....	7
2.1.1. Antecedentes históricos	7

2.1.2.	Los combustibles	10
2.1.3.	Gasificadores	12
2.1.3.1.	Tipos de gasificadores	13
2.1.3.2.	Elementos de los gasificadores	20
2.1.4.	El Gas de Gasificación (GG)	26
2.1.4.1.	Teoría de la gasificación Termoquímica	28
2.1.4.2.	Composición y poder calorífico del GG	30
2.1.4.3.	Requerimientos del GG para trabajar en motores	32
2.1.4.4.	Depuración del GG	34
2.1.4.5.	Refrigeración del GG	41
2.1.5.	Riesgos del uso del GG	43
2.1.6.	Regulación de la mezcla en motores a gas	47
2.2.	Sistema de Control Electrónico	52
2.2.1.	Electrónica de potencia (EP)	52
2.2.2.	Sistemas de electrónica de potencia	53
2.2.2.1.	Unidad de potencia	54
2.2.2.2.	Unidad de control	54
2.2.3.	Sistemas de control	54
2.2.3.1.	Tipos de sistemas de control	55
2.2.4.	Modulación por ancho de pulsos	57
2.2.5.	Sensores	58
2.2.5.1.	Tipos de sensores utilizados	59

2.2.5.2.	Acondicionamiento de sensores	64
2.2.6.	Actuadores.....	65
2.2.6.1.	Control de actuadores	65
2.2.6.2.	Actuadores utilizados	66
2.2.7.	Componentes electrónicos	68
2.2.7.1.	Componentes utilizados.....	70
2.2.8.	Programación de la unidad de control	85
CAPÍTULO 3	86
3.	MANTENIMIENTO	86
3.1.	Mantenimiento del motor	86
3.1.1.	Revisión de parámetros de funcionamiento.....	87
3.1.2.	Cambio de empaques y retenedores	88
3.1.3.	Reajuste de elementos	89
3.1.4.	Calibración de válvulas	90
3.2.	Mantenimiento del sistema de suministro de combustible	90
3.2.1.	Cambio de tanque de gasolina	90
3.2.2.	Limpieza de cañerías y sistemas de filtración	90
3.2.3.	Mantenimiento de bomba de gasolina.....	91
3.2.4.	Mantenimiento de carburador.....	92
3.3.	Mantenimiento del sistema de refrigeración	92
3.3.1.	Revisión y reemplazo de mangueras.....	92

3.3.2.	Mantenimiento del radiador.....	92
3.3.3.	Cambio de bomba de agua	93
3.4.	Mantenimiento del sistema de encendido	93
3.4.1.	Cambio de bujías.....	93
3.4.2.	Mantenimiento del distribuidor	94
3.5.	Mantenimiento del sistema de lubricación.....	94
3.5.1.	Cambio de aceite y filtro.....	94
3.6.	Mantenimiento del sistema eléctrico	95
3.6.1.	Reconexión e instalación de luces.....	95
3.6.2.	Recuperación de sistemas indicadores.....	96
3.7.	Tapicería y decorativos	97
CAPITULO 4		98
4.	DISEÑO	98
4.1.	Diseño mecánico.....	98
4.1.1.	Diseño del gasificador	98
4.1.1.1.	Diseño del reactor.....	99
4.1.1.2.	Diseño del separador ciclónico.....	113
4.1.1.3.	Selección del enfriador o intercambiador de calor del gas .	116
4.1.1.4.	Selección del filtro del gas	119
4.1.1.5.	Selección de los ductos del transporte y succión	120
4.2.	Diseño Mecatrónico.....	123

4.2.1.	Diseño de válvulas de selección.....	127
4.2.1.1.	Fundición de las válvulas	130
4.2.1.2.	Maquinado de las válvulas	132
4.2.2.	Diseño del control electrónico	134
4.2.2.1.	Selección de la computadora de control	134
4.2.2.2.	Selección de los elementos de control	138
4.2.2.3.	Selección de sensores.....	143
4.2.2.4.	Selección de los elementos de potencia	151
4.2.2.5.	Diseño del sistema de control	158
4.2.2.6.	Diseño del programa de control.....	165
4.2.2.7.	Diseño de la placa de control y potencia.....	167
CAPÍTULO 5		178
5.	CONSTRUCCIÓN INSTALACION Y PRUEBAS	178
5.1.	Construcción.....	178
5.1.1.	Construcción del reactor	178
5.1.2.	Construcción del separador ciclónico	182
5.1.3.	Construcción del filtro del gas	183
5.2.	Instalación.....	185
5.2.1.	Instalación del reactor	185
5.2.2.	Instalación del separador ciclónico	186
5.2.3.	Instalación del filtro del gas	186

5.2.4.	Instalación del enfriador o intercambiador de calor del gas...	187
5.2.5.	Instalación de los elementos de control.....	187
5.2.7.	Instalación del cerebro del control.....	193
5.2.8.	Instalación del HMI.....	193
5.3.	Pruebas.....	193
5.3.1.	Control del sistema de gasificación bajo los parámetros de diseño	198
5.3.2.	Verificación del sistema de control al monitoreo de variables.....	199
5.3.3.	Verificación de los actuadores bajo el mando del control.....	199
CAPÍTULO 6.....		200
6.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	200
6.1.	Costos directos	200
6.1.1.	Equipo mecánico.....	200
6.1.2.	Equipo electrónico.....	201
6.1.3.	Construcción.....	201
6.2.	Costos indirectos.....	202
6.2.1.	Arreglo del vehículo	202
6.2.2.	Prototipo.....	202
6.2.3.	Suministros.....	203
6.3.	Inversión total	203
CAPÍTULO 7.....		204

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	204
7.1. Conclusiones	204
7.2. Recomendaciones	206
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	208
ANEXOS	210

ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA 1 FUENTES DE BIOMASA.....</i>	11
<i>TABLA 2 INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA DE LA MADERA SOBRE LA CALIDAD DE LOS GASES GENERADOS.....</i>	12
<i>TABLA 3 REACCIONES QUÍMICAS DE LA GASIFICACIÓN.....</i>	30
<i>TABLA 4 TIPOS DE GAS SEGÚN SU AGENTE GASIFICANTE.....</i>	30
<i>TABLA 5 COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA DEL GG.....</i>	31
<i>TABLA 6 CANTIDADES MEDIAS TOLERABLES DEL GG.....</i>	32
<i>TABLA 7 ANÁLISIS QUÍMICO DEL ALQUITRÁN.....</i>	34
<i>TABLA 8 ANÁLISIS QUÍMICO DEL ALQUITRÁN.....</i>	35
<i>TABLA 9 EFECTOS TÓXICOS DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO EN EL AIRE.....</i>	44
<i>TABLA 10 TABLA DE COMPRESIÓN MOTOR JEEP WILLYS.....</i>	88
<i>TABLA 11 . PARÁMETROS VARIOS PARA DESPEJE DE FÓRMULAS.....</i>	100
<i>TABLA 12 DATOS EXPERIMENTALES.....</i>	100
<i>TABLA 13 RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN PRÁCTICA DEL MOTOR.....</i>	102
<i>TABLA 14 PODER CALÓRICO Y DENSIDAD DE LAS LEÑAS.....</i>	106
<i>TABLA 15 DETERMINACIÓN DE VOLUMEN DE DISEÑO.....</i>	108
<i>TABLA 16 DETERMINACIÓN DE POTENCIA.....</i>	113
<i>TABLA 17 MATRIZ DE SELECCIÓN ENFRIADOR.....</i>	118
<i>TABLA 18 DATOS DE SUCCIÓN DEL MOTOR.....</i>	120
<i>TABLA 19 SELECCIÓN DE DEPURADOR.....</i>	130
<i>TABLA 20 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MATERIAL.....</i>	131
<i>TABLA 21 ESTADO DE LAS VÁLVULAS MECATRÓNICAS.....</i>	134
<i>TABLA 22 TABLA COMPARATIVA ENTRE AVR Y PIC.....</i>	136
<i>TABLA 23 TABLA DE SELECCIÓN DE SERVOMOTOR.....</i>	138
<i>TABLA 24 TABLA DE SELECCIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA.....</i>	143
<i>TABLA 25 TABLA DE SELECCIÓN DEL SENSOR DE MONÓXIDO DE CARBONO.....</i>	150

<i>TABLA 26 SOFTWARE DE DISEÑO Y RUTEO.....</i>	<i>167</i>
<i>TABLA 27 ESPACIAMIENTO ENTRE PISTAS.</i>	<i>172</i>
<i>TABLA 28 COSTOS MATERIAL EQUIPO MECÁNICO.....</i>	<i>200</i>
<i>TABLA 29 COSTOS MATERIAL EQUIPO ELECTRÓNICO.....</i>	<i>201</i>
<i>TABLA 30 COSTOS PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN.....</i>	<i>201</i>
<i>TABLA 31 COSTOS ARREGLOS DEL VEHÍCULO.....</i>	<i>202</i>
<i>TABLA 32 COSTOS PROTOTIPO.....</i>	<i>202</i>
<i>TABLA 33 COSTOS SUMINISTROS.....</i>	<i>203</i>
<i>TABLA 34 COSTOS SUMINISTROS.....</i>	<i>203</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1 POLUCIÓN VEHICULAR.....	1
FIG. 2 SISTEMA CLÁSICO DE GASIFICACIÓN VEHICULAR.	3
FIG. 3 SISTEMA ANTIGUO DE GASIFICACIÓN.....	4
FIG. 4 PRIMEROS SISTEMAS DE GASIFICACIÓN.	8
FIG. 5 VEHÍCULOS MILITARES FRANCESES.....	9
FIG. 6 PROCESO DE OBTENCIÓN BIOMASA – BIOGAS.....	11
FIG. 7 PROCESO DE OBTENCIÓN BIOMASA – BIOGAS.....	13
FIG. 8 GASIFICADOR DE FLUJO CONTRA-CORRIENTE.....	15
FIG. 9 GASIFICADOR DE FLUJO CONCURRENTE	17
FIG. 10 GASIFICADOR DE FLUJO CRUZADO	19
FIG. 11 GASIFICADOR.....	21
FIG. 12 SEPARADOR CICLÓNICO DE PARTÍCULAS	22
FIG. 13 TANQUE DE FILTRADO DE PARTÍCULAS Y VAPORES.....	23
FIG. 14 ENFRIADOR AUTOMOTRIZ.....	24
FIG. 15 SOPLADOR Y SUCCIONADOR.	25
FIG. 16 SISTEMA DE GASIFICACIÓN VEHICULAR.....	26
FIG. 17 CICLO DEL CARBONO.....	27
FIG. 18 RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN Y LA EFICIENCIA TÉRMICA DE UN MOTOR.....	33
FIG. 19 SEPARACIÓN POR EFECTO DE FUERZAS DE INERCIA.....	37
FIG. 20 SEPARACIÓN POR EFECTO DE FUERZAS DE INERCIA.....	38
FIG. 21 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN CICLÓN	38
FIG. 22 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA TRAMPA DE POLVO.....	39
FIG. 23 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO DE MANGA	40
FIG. 24 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO DE MANGA	41
FIG. 25 PRIMERA CONFIGURACIÓN.....	48
FIG. 26 SEGUNDA CONFIGURACIÓN	49
FIG. 27 TERCERA CONFIGURACIÓN.....	49

FIG. 28 CUARTA CONFIGURACIÓN	50
FIG. 29 DISMINUCIÓN DEL VALOR CALORÍFICO DE UNA MEZCLA DE GAS POBRE Y AIRE EN FUNCIÓN DE LA DEFICIENCIA O EXCESO DE AIRE.....	52
FIG. 30 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE POTENCIA	53
FIG. 31 ESQUEMA BÁSICO DE CONTROL.....	55
FIG. 32 SISTEMA LAZO ABIERTO	56
FIG. 33 SISTEMA LAZO CERRADO	57
FIG. 34 SISTEMA LAZO CERRADO CON RETROALIMENTACIÓN	57
FIG. 35 TIPOS DE SENSORES.....	59
FIG. 36 TERMISTOR	60
FIG. 37 RTD	61
FIG. 38 TERMOPAR	61
FIG. 39 SENSORES DE GAS.....	62
FIG. 40 BOBINA DE CARRO	63
FIG. 41 POTENCIÓMETRO LINEAL	63
FIG. 42 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL.....	65
FIG. 43 MOTOR CORRIENTE CONTINUA DE 12V	66
FIG. 44 SERVOMOTOR	67
FIG. 45 COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....	69
FIG. 46 MICROCONTROLADORES	70
FIG. 47 GLCD	71
FIG. 48 PANEL TÁCTIL RESISTIVO.....	72
FIG. 49 PANEL TÁCTIL CAPACITIVO.....	73
FIG. 50 RESISTENCIAS.....	73
FIG. 51 RESISTENCIA VARIABLE Y SÍMBOLO	74
FIG. 52 ESTRUCTURA DE UN CAPACITOR.....	75
FIG. 53 TIPOS DE CAPACITORES.....	76
FIG. 54 RELÉ.....	77

FIG. 55 DIODO	78
FIG. 56 DIODO ZÉNER.....	79
FIG. 57 TRANSISTORES	79
FIG. 58 ZONAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSISTOR.....	80
FIG. 59 DISIPADOR DE CALOR	82
FIG. 60 AMPLIFICADOR INSTRUMENTAL.....	83
FIG. 61 OPTOACOPLADOR ASPECTO EXTERIOR, SISTEMA ELÉCTRICO.....	83
FIG. 62 NIQUELINA ELÉCTRICA	85
FIG. 63 CONDICIONES VISUALES DEL MOTOR DEL VEHÍCULO.....	87
FIG. 64 CONDICIONES VISUALES DEL VEHÍCULO EN GENERAL.....	88
FIG. 65 JUEGO DE BUJÍAS DE REEMPLAZO.	94
FIG. 66 ESQUEMA DE LUCES	95
FIG. 67 CONDICIONES FINALES DEL JEEP WILLYS.....	97
FIG. 68 CONSUMO DE AIRE VS VELOCIDAD DEL MOTOR.....	103
FIG. 69 GRAFICA DE GENERACIÓN DE GAS.....	104
FIG. 70 TANQUE DE GAS REFRIGERANTE R22 PARA TOLVA.....	108
FIG. 71 TUBERÍA PARA ZONAS DE PROCESAMIENTO Y GENERACIÓN DE BIOGÁS.	109
FIG. 72 ACUMULADOR PRIMARIO DE GAS	110
FIG. 73 VOLUMEN EXPERIMENTAL.....	111
FIG. 74 TROZOS ACOMODADOS.....	111
FIG. 75 VOLUMEN INTERIOR DE ALMACENAMIENTO DE LEÑA.....	113
FIG. 76 . EXTINGUIDOR FUERA DE SERVICIO.....	114
FIG. 77 MEDIDAS PARA DISEÑO DE CICLÓN.....	115
FIG. 78 DIÁMETRO EXTERIOR DEL CICLÓN.....	116
FIG. 79 TRANSFERENCIA DE CALOR.....	121
FIG. 80 TANQUE DE GAS REFRIGERANTE R22	123
FIG. 81 SISTEMA MECÁNICO.....	124
FIG. 82 SISTEMA ELECTRÓNICO	124

FIG. 83 SISTEMA DE CONTROL	125
FIG. 84 SISTEMA MECATRÓNICO.....	126
FIG. 85 DISEÑO CAD DE VÁLVULAS ELECTROMECAÑICAS	128
FIG. 86 FUNDICIÓN DE ALUMINIO	131
FIG. 87 TOCHO DE ALUMÍNIO LISTO PARA MAQUINAR	132
FIG. 88 FRESA CNC FADAL	132
FIG. 89 VÁLVULAS MAQUINADAS EN CNC.....	133
FIG. 90 DISPOSICIÓN DE PINES ATMEGA 164P	137
FIG. 91 SERVOMOTOR UTILIZADO EN LA APLICACIÓN.	139
FIG. 92 TIEMPOS DE RESPUESTA DE UN SERVOMOTOR.....	139
FIG. 93 SIMULADOR DE PULSO 1	140
FIG. 94 POSICIÓN DE LA VÁLVULA	141
FIG. 95 SIMULADOR DE PULSO 2	141
FIG. 96 SIMULADOR DE PULSO 3.....	142
FIG. 97 SIMULADOR DE PULSO 4.....	142
FIG. 98 SENSOR RTD UTILIZADO PARA LA APLICACIÓN.....	144
FIG. 99 RELACIÓN TEMPERATURA RESISTENCIA RELATIVA.....	146
FIG. 100 ESQUEMA PUENTE DE WHEATSTONE.....	147
FIG. 101 CONFIGURACIÓN DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL.	148
FIG. 102 ACONDICIONAMIENTO DE RTD.....	149
FIG. 103 SENSOR MQ-7 UTILIZADO PARA LA APLICACIÓN.....	150
FIG. 104 ACONDICIONAMIENTO SENSOR MQ-7.....	151
FIG. 105 FUENTE DE 12V.....	152
FIG. 106 FILTRO DE LA SEÑAL DE 5V	152
FIG. 107 FUENTE DE ALIMENTACIÓN	154
FIG. 108 CONFIGURACIÓN DEL RELÉ PARA LA BOMBA DE COMBUSTIBLE	155
FIG. 109 CONFIGURACIÓN DEL RELÉ PARA LA RESISTENCIA TERMOELÉCTRICA	156
FIG. 110 INGRESO DE VECTORES DE ENTRADA Y SALIDA	158

FIG. 111 DETERMINACIÓN VECTOR ENTRADA SALIDA.....	159
FIG. 112 SELECCIÓN DEL MODELAMIENTO DEL PROCESO.....	159
FIG. 113 SELECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.....	160
FIG. 114 VALORES DE K_P Y T_{P1}	160
FIG. 115 RESPUESTA DE LA PLANTA DEL SISTEMA	161
FIG. 116 DIAGRAMA DE BLOQUES CONTROLADOR PLANTA.....	162
FIG. 117 REDUCCIÓN DE DIAGRAMA DE BLOQUES.....	162
FIG. 118 SIMULACIÓN PLANTA DISCRETA.....	163
FIG. 119 PLANTA CONTROLADA.....	164
FIG. 120 DIAGRAMA DE CONTROL.....	164
FIG. 121 CONFIGURACIÓN DEL SERVOMOTOR.....	165
FIG. 122 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA DE CONTROL.....	166
FIG. 123 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.....	166
FIG. 124 DIAGRAMA CORRIENTE VS SECCIÓN TRANSVERSAL.....	173
FIG. 125 DIAGRAMA ANCHO DE CONDUCTOR VS SECCIÓN TRANSVERSA	174
FIG. 126 DISEÑO DE LA PLACA DE CONTROL.....	176
FIG. 127 VISTA 3D DE LA PLACA DE CONTROL.....	177
FIG. 128 TUBERÍA CÉDULA 40.....	178
FIG. 129 ZONA DE REDUCCIÓN ACOPLADA A LA TOLVA	179
FIG. 130 CONSTRUCCIÓN TAPA.....	180
FIG. 131 RESORTES	180
FIG. 132 ACUMULADOR EXTERIOR.....	181
FIG. 133 ACOUPLE FINAL DEL REACTOR.....	182
FIG. 134 SEPARADOR CICLÓNICO	183
FIG. 135 CONJUNTO DE DEPURACIÓN.....	184
FIG. 136 INTERIOR FILTRO DE GAS.....	184
FIG. 137 ESQUEMA UBICACIÓN DE ELEMENTOS.....	185
FIG. 138 UNIÓN DE ACOUPLE	186

FIG. 139 FILTRO DE PARTÍCULAS	186
FIG. 140 UBICACIÓN DE ENFRIADOR.	187
FIG. 141 CABLEADO DE LUCES Y DE CONTROL DEL SISTEMA.	188
FIG. 142 UBICACIÓN DEL SENSOR DE GAS EN EL ACUMULADOR	188
FIG. 143 UBICACIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA EN EL GASIFICADOR	189
FIG. 144 UBICACIÓN DEL POTENCIÓMETRO EN EL AUTOMOTOR.....	189
FIG. 145 INSTALACIÓN DE VÁLVULAS DE CONTROL.....	190
FIG. 146 ACOPLÉ ENTRADAS AL DEPURADOR.....	191
FIG. 147 ACOPLÉ DE VÁLVULAS	191
FIG. 148 INSTALACIÓN DEL MOTOR DE SUCCIÓN.	192
FIG. 149 INSTALACIÓN DE LA RESISTENCIA.....	193
FIG. 150 SALIDA DE GAS PRODUCIDO POR BIOMASA.	194
FIG. 151 RESULTADO DE PRUEBAS CON PROTOBOARD Y MÓDULO.....	194
FIG. 152 RESULTADO DE TIPO DE BIOMASA.	195
FIG. 153 RESULTADO DE CALIDAD DE GAS.....	195
FIG. 154 RESULTADO DE ENCENDIDO DEL VEHÍCULO.....	195
FIG. 155 RESULTADO DE TEMPERATURAS EN LA SECCIÓN DE REDUCCIÓN	196
FIG. 156 RESULTADO DE TEMPERATURAS EN LA SECCIÓN DE SECADO	196

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>ECUACIÓN 1 AMPLIFICADOR DE CORRIENTE</i>	80
<i>ECUACIÓN 2. FLUJO MÁSIICO DE AIRE</i>	100
<i>ECUACIÓN 3. EFICIENCIA VOLUMÉTRICA</i>	101
<i>ECUACIÓN 4 FLUJO MÁSIICO DE COMBUSTIBLE</i>	101
<i>ECUACIÓN 5 RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE</i>	102
<i>ECUACIÓN 6 CÁLCULO DE CAUDAL</i>	103
<i>ECUACIÓN 7 CÁLCULO DE VOLUMEN</i>	106
<i>ECUACIÓN 8 FACTOR DE IRREGULARIDAD</i>	112
<i>ECUACIÓN 9 CÁLCULO DE VELOCIDAD</i>	115
<i>ECUACIÓN 10 DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA TÉRMICA</i>	121
<i>ECUACIÓN 11 ECUACIÓN DE TORQUE</i>	128
<i>ECUACIÓN 12 RELACIÓN LECTURA ADC SALIDA PWM VÁLVULA PEQUEÑA</i>	140
<i>ECUACIÓN 13 RELACIÓN LECTURA ADC SALIDA PWM VÁLVULA GRANDE</i>	141
<i>ECUACIÓN 14 ECUACIÓN CARACTERÍSTICA DE LA RTD</i>	145
<i>ECUACIÓN 15 ECUACIÓN DE VOLTAJE MÍNIMO DE LA RTD</i>	147
<i>ECUACIÓN 16 FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA PLANTA</i>	161
<i>ECUACIÓN 17 MODELO MATEMÁTICO DEL CONTROL PI</i>	162
<i>ECUACIÓN 18 REDUCCIÓN DE ÁLGEBRA DE BLOQUES</i>	162
<i>ECUACIÓN 19 APROXIMACIÓN DE TUSTIN</i>	163
<i>ECUACIÓN 20 RESISTENCIA</i>	168
<i>ECUACIÓN 21 RESISTIVIDAD DE UN MATERIAL</i>	169
<i>ECUACIÓN 22 ANCHO DE LA PISTA CONOCIENDO EL ÁREA TRANSVERSAL</i>	171
<i>ECUACIÓN 23 ÁREA TRANSVERSAL DE LA PISTA</i>	171
<i>ECUACIÓN 24 ANCHO DE LA PISTA</i>	172
<i>ECUACIÓN 25 LEY DE OHM</i>	175
<i>ECUACIÓN 26 LONGITUD MÁXIMA PARA UNA PISTA DE COBRE CON 4.26TH² DE ÁREA TRANS</i>	175
<i>ECUACIÓN 27 DETERMINACIÓN CAUDAL DE CONSUMO</i>	197

RESUMEN

El proyecto contempla los procesos definidos en 2 fases concretas: la generación de gas proveniente de la madera, el encendido junto con el correcto funcionamiento del motor de 4 tiempos. En cuanto a lo referente al sistema de generación de gas, se tiene como punto de partida el diseño del sistema mecánico como tal; tanques, filtros, enfriadores y sistema de ductos de transporte, dicho sistema será controlado por el computador hasta que alcancen los parámetros necesarios para continuar con la siguiente fase del desarrollo. La segunda fase contempla la armonía entre el control electrónico y la mecánica pura, al sensar los parámetros de funcionamiento del Gasificador, y la mezcla dentro de la cámara de combustión del motor, preparándola así para obtener una detonación eficaz. Como un aporte para esta investigación se incursionará en el desarrollo de un sistema híbrido de suministro de combustible, con libertad de decisión entre gas o gasolina acorde a los requerimientos del usuario. Se generará, probará y seleccionará conceptos y criterios para lograr un diseño concurrente entre las ingenierías que convergen para la solución del problema. No se debe olvidar que con este proyecto se pretende reducir el problema de contaminación, esto se lo realizará cumpliendo el ciclo de carbono, es decir que el balance energético de contaminación será igual a 0, con la finalidad de aportar al desarrollo de alternativas para la movilidad y el transporte en los motores de combustión interna convencionales, reduciendo sus niveles de contaminación de modo que sean más amigables con el ambiente y no pierdan su funcionalidad y servicio.

PALABRAS CLAVES:

- ◆ Gasificador
- ◆ Combustión
- ◆ Sistema
- ◆ Híbrido
- ◆ Generación

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. Antecedentes.

En el planeta se ha venido a más lo referente al cuidado del ambiente, y dado que una de las principales fuentes de contaminación es provocada por los gases tóxicos de escape de los automotores, denominados fuentes móviles, mismas que contribuyen enormemente a la polución del aire mediante la emisión de CO₂, NO_x, ozono, VOC, HAP, CFC y partículas volátiles.



Fig. 1 Polución vehicular.¹

Los 450 000 carros que circulan en Quito son los causantes del 70% de la contaminación del aire. Según estimaciones de la Secretaría de Movilidad

¹ Imagen tomada del sitio: <http://vidayestilo.terra.com.ec/salud/vida-sana/la-contaminacion-ambiental-y-el-riesgo-de-autismo,024d97773ae3b310VgnVCM5000009ccceb0aRCRD.html>

y Obras Públicas, al año se consumen 80 millones de galones de diésel automotor y 150 millones de gasolina.²

Es importante analizar otras alternativas de combustibles que puedan ser utilizadas en el parque automotor, de modo que se reduzcan las cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero.

Los avances tecnológicos de la mano con antecedentes históricos brindan una gama de alternativas para el funcionamiento de vehículos automotores con la aplicación de sistemas como son: eléctricos o híbridos, de hidrógeno, biodiesel, gas comprimido, biogás; este último será considerado para su investigación, diseño y aplicación en un vehículo proporcionado por el Laboratorio de Motores de Combustión Interna del DECEM.

La tecnología de gasificación es ya un viejo conocido, pero vuelve a estar de actualidad por la crisis energética y ambiental a la que nos enfrentamos.

Conceptualmente, es un proceso muy simple. Consiste en obtener una mezcla de gases combustibles (lo que se conoce genéricamente como “gas pobre”) a partir de materia orgánica, es decir, biomasa, mediante la combustión parcial de la misma a altas temperaturas, entre 700 y 1.200 °C. La mezcla de gases generada depende de la materia prima y el proceso seguido. Son fuentes adecuadas: madera y serrín, paja, basura orgánica secada y triturada, restos animales, etc.

²Secretaría de Movilidad y Obras Públicas.



Fig. 2 Sistema clásico de gasificación vehicular.³

1.2. Justificación.

Teniendo en cuenta que el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DECEM) cuenta con dos carreras afines como lo son La Mecánica y La Mecatrónica, aprovechar esta premisa para contemplar la unión de las dos en el desarrollo de un proyecto de investigación interdisciplinario, dado que los conocimientos manejados tienen gran correlación y en un punto llegan a intersecarse, esto conlleva a contemplar una visión mucho más amplia en cuanto al diseño y desarrollo de elementos, sistemas, máquinas y equipos.

El mencionado proyecto, aparte de servir como un tema de tesis para la obtención del título de ingeniería, podría ser contemplado posteriormente, como base para un proyecto de investigación aplicado como un MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio).

En la actualidad en el país se poseen escasas soluciones al tratarse de disminuir la contaminación del ambiente en cuanto se refiere al parque automotor, es por esto que se pretende desarrollar una aplicación híbrida en un vehículo con un motor de cuatro tiempos, que actualmente se encuentra fuera de servicio por el nivel de polución que este genera, de esta manera el

³ Imagen tomada del sitio: <http://crashoil.blogspot.com/2012/06/tecnicas-para-el-aprovechamiento-de-la.html>

impacto ambiental disminuirá a través del diseño y aplicación de la tecnología, buscando la armonía entre la mecánica y la electrónica para el desarrollo de un sistema de generación de combustible alternativo controlado de manera automática.

Se pretende reducir el impacto ambiental con vehículos que utilicen combustibles alternativos, es decir no por medio de derivados del petróleo. Esta idea está orientada a mantener los recursos mecánicos existentes de los vehículos que actualmente se encuentran en servicio y que en futuro pueden dejar de estarlo, por falta de combustibles o por la contaminación que producen.

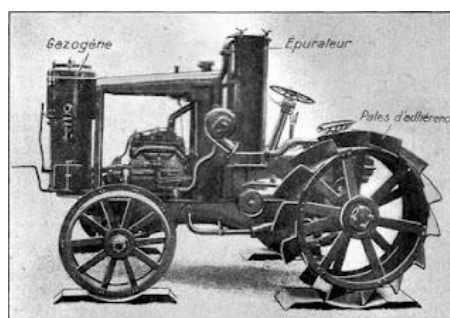


Fig. 3 Sistema antiguo de gasificación.⁴

En antecedentes se expuso sobre la tecnología de gasificación y su duración en el tiempo, de ahí que este proyecto pretende utilizar los conocimientos ya existentes para realizar un diseño que se adapte a la realidad y condiciones geopolíticas y climáticas del país, innovando los poco o casi nulos diseños existentes.

Es importante recalcar que por la magnitud de este estudio y la implicación de varias áreas del conocimiento dentro del departamento, el proyecto es considerado como multidisciplinario ya que engloba una parte mecánica, energética, electrónica y de control, como una vinculación

⁴ Imagen tomada del sitio: <http://crashoil.blogspot.com/2012/06/tecnicas-para-el-aprovechamiento-de-la.html>

Mecatrónica para el mejoramiento del sistema de suministro de combustible alternativo.

De esta forma se puede demostrar la importancia que este proyecto tiene para ser desarrollado, puesto que engloba todas las áreas de conocimiento impartidas en las dos carreras; Mecánica y Mecatrónica y se justifica su aprobación y posterior realización ya que los resultados obtenidos del mismo serán “Papers” y el “KnowHow” de esta innovación tecnológica, ya que por la investigación bibliográfica realizada no se obtuvo información de algo similar en ninguna universidad y empresa en el país.

1.3. Objetivos.

1.3.1. General.

Diseñar y construir un sistema de generación de combustible alternativo a través de biomasa controlado electrónicamente para su aplicación en un Jeep Willys 1974.

1.3.2. Específicos

- ◆ Diseñar los sistemas mecánicos para generación, suministro y dosificación del gas a producirse.
- ◆ Diseñar un sistema electrónico que a través de la verificación de las variables presentes, controle el funcionamiento eficaz del motor.
- ◆ Implementar los sistemas diseñados en el vehículo propuesto, para realizar las pruebas y verificar que las condiciones de diseño se cumplan.
- ◆ Hacer una evaluación económica y financiera del proyecto.

1.4. Alcance del proyecto.

Tener al Jeep Willys en funcionamiento y movimiento aplicando el sistema alternativo que se desea diseñar y construir.

Teniendo como punto de partida el sistema mecánico, que en este caso será el motor alternativo de 4 tiempos del vehículo, perteneciente al laboratorio de Motores de Combustión Interna, del DECEM, el cual será facilitado como objeto de investigación, experimentación y pruebas, mismo al que se le instalará un sistema gasificador de Biomasa, dotado de una hoguera con encendido automático, donde se combustionará la biomasa, generando gas a una temperatura, presión y flujo, variables controladas electrónicamente que permitirán al cerebro determinar la calidad y cantidad necesaria de gas para poner en marcha el motor.

Debido a que este gas llega cargado con un porcentaje variable de oxígeno al cuerpo de aceleración, es imprescindible contar un sistema automático de regulación de flujo, el cual permita obtener la mezcla ideal para su combustión dentro del motor.

Con todo esto, es indispensable llevar también un control de la cantidad de masa necesaria dentro de la caldera, para que continúe el proceso de generación de gas, que indique cuando sea necesario alimentarla con más biomasa.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Contexto de los Sistemas de Gasificación para aplicación en motores.

2.1.1. Antecedentes históricos

La producción de gases combustibles de bajo poder calorífico (Low Calorific Value) que se generan a partir de la gasificación de biomasa pueden ser utilizados como combustibles en diferentes aplicaciones como son motores de combustión interna, turbinas de gas, quemadores y calderas.

Para aprovechar esta fuente alternativa de energía, tenemos una serie de inconvenientes, como la adecuación de los sistemas de aprovechamiento de este combustible, junto con los sistemas pertinentes y eficientes de filtrado acorde a la aplicación para la cual se diseñe y se adapte el sistema.

Las primeras investigaciones acerca de los sistemas de gasificación y sus implementaciones, se llevaron a cabo en Francia, en 1785, por el ingeniero Philippe Lébon, este tuvo una apreciación muy simple y muy rústica, pero se sentó un cimiento para la investigación y mejoramiento. Fue hasta 1836 que el Ingeniero Samuel Brown patentó un diseño propio más eficiente y funcional, hecho que marcó el inicio de la revolución industrial en Europa.

Posterior a esto, se empezaron a diseñarse los primeros motores de combustión interna proyectados y construidos para quemar gas producido en gasificadores. En 1876 Nickolas Otto diseñó y construyó el primer motor de cuatro tiempos usando como combustible básico, gas de carbón.



Fig. 4 Primeros sistemas de gasificación.⁵

Seria en 1886 cuando los sistemas de gasificación encontrarían ligeramente el principio de su fin con el rediseño de los motores de Otto para trabajar con combustibles líquidos y bujías de ignición, rediseño que se le atribuye al Ingeniero Gottlieb Daimler, y con el pasar de los años la creación de motores de combustión de aceites vegetales y derivados de petróleo con ignición por compresión llegaría de la mano de Ingeniero Rudolph Diesel.

Durante los años posteriores se siguió tras la investigación y desarrollo de gasificadores portátiles principalmente en Francia e Inglaterra, implementando el uso de carbón mineral y vegetal como combustible sólido básico, siendo aplicados en todo tipo de motores, de tractores, camiones e incluso en omnibuses, pero hasta los inicios de la Primera Guerra mundial los gasificadores y gasógenos no habrían alcanzado grandes avances y desarrollo que los recomendaría para sustituir la aplicación de la gasolina ya que uno de los principales problemas en el mejoramiento de estos sistemas era precisamente la selección de los combustible sólidos a ser utilizados ya que la calidad de los mismos yacían demasiado variadas y dependían de sus características propias de cada elemento como son, principalmente su

⁵ Imagen tomada del sitio: <http://www.colectivoburbuja.org/index.php/antonio-turiel/tecnicas-para-el-aprovechamiento-de-la-biomasa/>

comercialización, los sistemas de tratamiento, su granulometría, etc... lo que hacía imprescindible que la clasificación de este tipo de combustibles se desarrollara de inmediato.

Junto con la especulación sobre la disponibilidad de petróleo a gran escala, algunos ingenieros insistieron en el desarrollo de los sistemas de gasificación y gasógenos para automotores. Sería el Ingeniero George Imbert quien patentaría un importante avance en gasógenos en el año de 1924 que le trajo grandes éxitos comerciales y cuyas innovaciones fueron adoptadas inmediatamente por otros fabricantes lo que llamó mucho la atención en la aplicación y utilización de gasógenos de modo que era necesario promover su investigación y desarrollo, aunque la acogida de este tipo de sistemas sería muy pobre en Francia, y estaría más enfocada en su aplicación en vehículos del ejército.

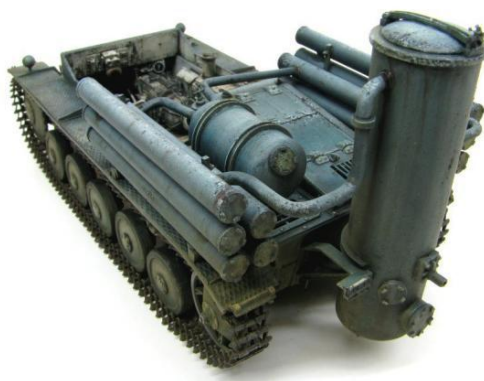


Fig. 5 Vehículos Militares Franceses⁶

En la década de 1920 se analizaba la posibilidad de aplicar sistemas de gasificación cuyo combustible sólido sea la cascara de arroz por su composición química variable y su alto contenido de ceniza, pero lamentablemente los investigadores se dieron cuenta de la dificultad para su

⁶ Imagen tomada del sitio: <http://modelismoymodelistas.blogspot.com/2012/07/panzershule-ii-gasogen-esc-135-by-kamil.html>

utilización, de modo que se vieron obligados a eliminar por completo la aplicación de este tipo de combustible y dando paso a seguir en la búsqueda de nuevas alternativas.

2.1.2. Los combustibles

Partiendo de un hecho importante y considerando que los motores de combustión interna de encendido por chispa no necesitan de grandes adecuaciones para poder funcionar con gas de gasificación, se debe tomar en cuenta que dichos motores, al ser diseñados para trabajar con combustibles líquidos, no requieren gran esfuerzo por parte del operador para arrancar dichos sistemas tanto que inclusive esa operación se la puede realizar de manera automática.

Es por esto que quien espere algo semejante del funcionamiento de motores con gas de madera, se verá frustrado, pues la preparación del sistema para el arranque puede llevar un tiempo, además el combustible es voluminoso y difícil de manejar por lo que suele ser necesario repostar con frecuencia de combustible, lo que limita el tiempo en que puede funcionar el motor sin atenderlo. El encargarse de los residuos, como cenizas, hollín y condensados de alquitrán, exige mucho tiempo y es sucio.

Al referirnos a sistemas de gasificación de biomasa, se analizaron un sinnúmero de posibles fuentes de combustible para poder poner el funcionamiento los gasificadores, conforme se fueron clasificando y desarrollando las diferentes técnicas de selección de estos, logramos tener a groso modo una tabla en la que se los agrupan:

BIOMASA	
Fuentes	Tipos
Residuos Agrícolas	Pasto, deshechos de la producción de maíz y de frutas, cáscara de arroz, cáscara de nueces, residuos de la producción de aceite de soya y de girasol, bagazo de la producción de la caña de azúcar.
Desechos Orgánicos	Basura doméstica e industrial y deshechos de papel
Madera	Madera de desecho de la industria de muebles y puertos, deshechos de los jardines y de parques naturales, madera de demolición.
Lodos	Residuos del tratamiento de aguas negras y líneas de conducción de las mismas.

Tabla 1 Fuentes de Biomasa⁷

Luego de estudiar e investigar la factibilidad de la aplicación de los distintos tipos de biomasa, por la década de 1930 hubo un aumento en el interés de aplicar sistemas de gasificación en otros países, especialmente en aquellos con vastas reservas forestales.

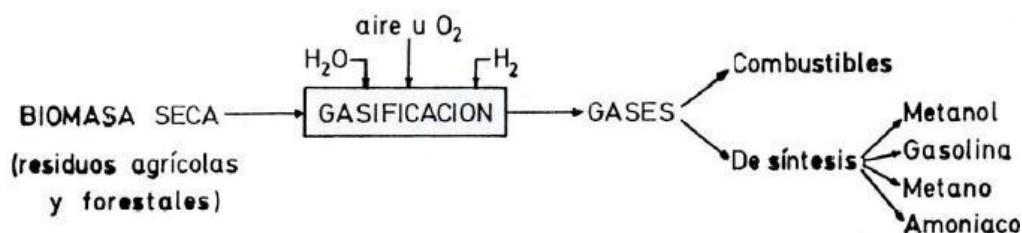


Fig. 6 Proceso de obtención Biomasa – Biogas⁸

Previamente al uso de la biomasa, se debe considerar el proceso productivo en su conjunto, desde su origen, haciendo hincapié en los pasos intermedios referentes a la fabricación y transporte de los componentes y equipos asociados a la biomasa. Hay que tener en cuenta la utilización de fuentes de energía no renovable en alguna etapa, contribuyendo de forma negativa al proceso renovable que conlleva la utilización de la biomasa.

⁷ Tabla tomada de: http://www.gasification.org/what_is_gasification/state-of-gasification.aspx

⁸ Tabla desarrollada por el Investigador, con información obtenida del Artículo "GASIFICACIÓN DE BIOMASA PARA PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES DE BAJO PODER CALORÍFICO Y SU UTILIZACIÓN EN GENERACIÓN DE POTENCIA Y CALOR"

Más es un error corriente suponer que cualquier tipo de biomasa que entre por la abertura de la tapa de la tolva de reserva, puede emplearse como combustible. Muchas de las dificultades operativas que encuentran los usuarios inexpertos de gasificadores obedecen al empleo de combustibles inadecuados.

Mucho depende también de la granulometría que posee el combustible a ser suministrado dentro del gasificador, la Tabla 2 indica su influencia en la calidad de los gases generados dentro del gasificador.

Componente	Tronco	Pedazos de madera	Aserrín
CO	29,0	21,0	18,2
CO ₂	6,6	10,0	12,2
H ₂	13,0	18,0	10,2
CH ₄	4,2	3,6	3,2
O ₂	0,2	0,6	0,8
N ₂	47,0	46,6	55,4
PCI(kcal/nm ³)	1570	1406	1090

Tabla 2 Influencia de la granulometría de la madera sobre la calidad de los gases generados⁹

2.1.3. Gasificadores

Se trata del sistema donde se realiza el proceso de transformación termoquímica de la materia sólida de origen orgánico, proceso que tendrá como resultado gas de bajo poder calórico.

Esto se debe a la combustión parcial del combustible sólido que se realiza a través de la reacción de este con el aire inyectado directo en la zona de oxidación del Reactor (Gasificador). En este proceso la mayor parte

⁹ Tabla tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 48 p.

de energía química del combustible sólido se transfiere al combustible gaseoso producido.

Un gasificador básicamente está compuesto de un recipiente o tolva que se encarga de recibir el material para la gasificación, un compartimento diseñado para realizar la quema parcial del material mencionado, los pertinentes medios de eliminación de cenizas y sus respectivos ductos de inyección de aire, y de salida del gas producido. (FAO, 1993) (OLADE, 1987)

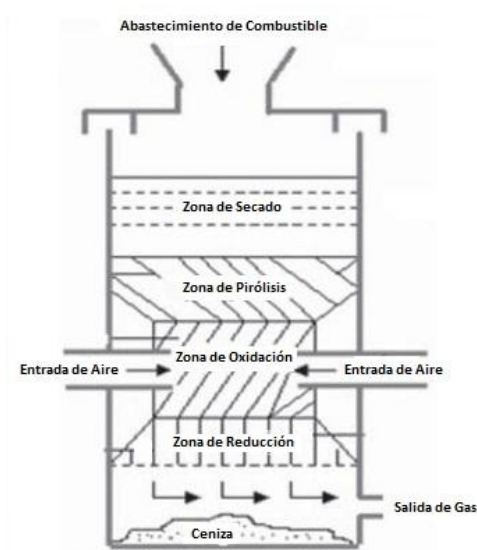


Fig. 7 Proceso de obtención Biomasa – Biogas

2.1.3.1. Tipos de gasificadores

Los equipos de gasificación pueden ser clasificados de las siguientes maneras.

a) Según la fuente de energía para el proceso de Gasificación

- ◆ **Alotérmico:** Cuando la fuente que proporciona la energía al sistema es externa.
- ◆ **Autotérmico:** Cuando la combustión parcial de combustible es la que proporciona la energía al sistema. (FAO, 1993)

- b) Según la presión de operación de Gasificador
- ◆ **Baja presión:** Cuando el gasificador trabaja a presión atmosférica.
 - ◆ **Alta presión:** Cuando el gasificador opera a presiones entre 1 y 10 atmósferas. (FAO, 1993)
- c) Según la clase del lecho en el Gasificador
- ◆ **Lecho Fijo:** Muchos autores consideran este tipo de gasificador, como aquel que mantiene su zona de reacción fija, y es el combustible el que fluye por el gasificador hasta llegar a ella.
 - ◆ **Lecho Fluidizado:** Cuando las partículas de combustible se encuentran en suspensión en un líquido. (FAO, 1993)
- d) En cuanto a la forma de cargar combustible y de descargar cenizas.
- ◆ **Intermitente:** La carga se realiza en grandes cantidades y la descarga se procede con los gasificadores inoperantes
 - ◆ **Continuo o Semi-continuo:** la carga del combustible y la descarga de las cenizas se la realiza de manera continua con el gasificador en operación. (FAO, 1993)
- e) Según el movimiento relativo de los gases y el combustible:
- ◆ **Flujo concurrente:** El combustible sólido y los gases se mueven en la misma dirección que generalmente es hacia abajo, este sistema es más conocido como "Down Draft".
 - ◆ **Flujo contra-corriente:** El combustible y los gases se desplazan en direcciones opuestas, en general el gas se desplaza hacia arriba, también conocido como "Up Draft".
 - ◆ **Flujo cruzado:** Los gases generados se mueven transversalmente al flujo de combustible, conocido también como "Cross Flow". (FAO, 1993)

El enfoque va a tomar como partida la clasificación de los gasificadores según el movimiento relativo de los gases y el combustible, pues tiene mayor incidencia en el diseño y los requerimientos que los Motores de Combustión Interna exigen para su funcionamiento básico, es claro que el diseño llevara una recopilación de los distintos tipos de gasificadores y los combinará de acuerdo con las exigencias del sistema y los requisitos de construcción, por tal motivo es imprescindible hacer un estudio más profundo de esta última clasificación con la finalidad de comprender la estructura de cada uno de los tipos de gasificadores.

Gasificador de Contra-Corriente o Up Draft

El tipo de gasificador más antiguo y sencillo es el de contra-corriente o gasificador ascendente que se presenta esquemáticamente en la Figura 8, una de las principales características de este tipo de gasificadores es su facilidad para realizar el secado del combustible que pudiera presentarse con cantidades altas de humedad, pues su disposición para el trabajo dan accesibilidad para esta tarea.

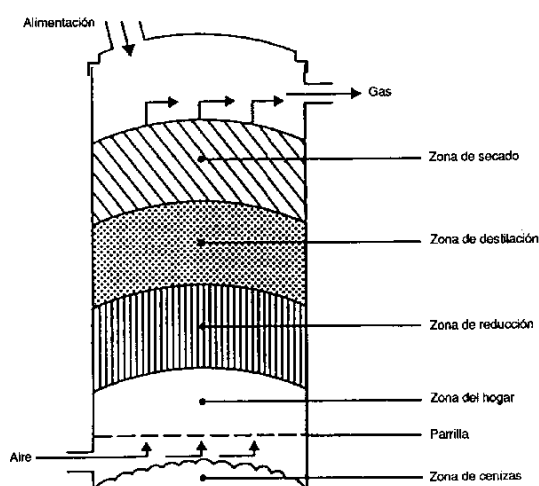


Fig. 8 Gasificador de Flujo Contra-corriente¹⁰

¹⁰ Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 24 p.

La entrada de aire se encuentra en el fondo del gasificador y los gases circulan hacia arriba. Cerca de la parrilla, en el fondo del gasificador, tienen lugar las reacciones de combustión, que van seguidas de reacciones de reducción algo más arriba. En la parte alta del gasificador se da lugar el calentamiento y pirólisis del combustible sólido, como resultado de la transferencia de calor, por convección forzada y radiación, de las zonas inferiores. La desventaja de este sistema es que los alquitranes y productos volátiles producidos durante este proceso son transportados por la corriente de gas además de que se remueven las cenizas del fondo del gasificador.

Las principales ventajas de este tipo de gasificador consisten en su simplicidad, alta proporción de carbón vegetal quemado e intercambio interno de calor que nos da como resultado bajas temperaturas de salida del gas y alta eficiencia del equipo y también la posibilidad de funcionar con muchos tipos de combustibles como: serrín, cascaras de cereales, etc.

Los principales inconvenientes provienen de la posibilidad de que se produzcan "chimeneas" en el equipo por la gran cantidad de volátiles constituidos por vapor de agua, ácidos y alquitranes, lo que junto con la mezcla de oxígeno puede generar situaciones explosivas peligrosas.

Es necesario en esos casos, instalar parrillas de movimiento automático y también sistemas de eliminación de líquidos condensados que contienen alquitranes, resultantes de las operaciones de depuración del gas. En caso de ocupar el gas en aplicaciones directas, esto último no es necesario, puesto que dentro del proceso el alquitrán tiene a quemarse. (FAO, 1993) (OLADE, 1987)

Gasificadores Concurrentes o Down Draft

Se ha encontrado una solución al problema del arrastre de alquitrán con la corriente de gas, uno de los principales inconvenientes para la aplicación en motores de combustión interna, con el diseño de este tipo de gasificadores de tiro invertido, en los cuales el aire inyectado de primera gasificación se introduce directamente en la zona de oxidación o por encima de ésta. El gas pobre sale por el fondo del aparato de modo que el combustible y el gas se mueven en la misma dirección, como se muestra esquemáticamente en la Figura 9. Cabe destacar que este es uno de los sistemas más complejos dentro del diseño de los gasificadores puesto que su arquitectura tiene que ver directamente con la calidad de los gases resultantes de la reacción, por lo tanto en comparación con el Gasificador de Flujo de Contra-Corriente, este conlleva un estudio más minucioso y un enfoque más detallado en el diseño.

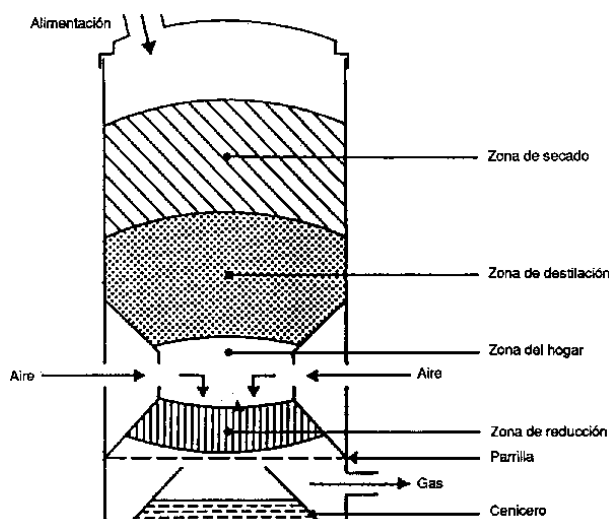


Fig. 9 Gasificador de Flujo Concurrente¹¹

En cuanto al gas, en su camino hacia abajo, los productos ácidos y alquitranes de la destilación procedentes del combustible deben pasar a

¹¹ Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 24 p.

través del lecho incandescente de carbón vegetal creado en la zona de oxidación y se transforman por ello en gases permanentes de hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono y metano.

Dependiendo de la temperatura de la zona de oxidación y del tiempo de paso de los vapores con alquitrán, se logra una descomposición más o menos completa de los alquitranes, por ello que el dimensionamiento de esta zona y la selección de un sistema de suministro de aire o de succión del mismo es un punto primordial al momento de diseñar el gasificador, pues con este se puede variar el flujo con el que se desea pasar gas.

Los gasificadores de tiro invertido sufren menos objeciones ambientales que los gasificadores de tiro directo, debido al menor contenido de componentes orgánicos en el líquido condensado.

Uno de los principales inconveniente de los equipos de flujo concurrente es la poca flexibilidad que estos tienen para trabajar con cualquier tipo de combustibles. En particular, los materiales blandos y de baja densidad ocasionan problemas de circulación por lo cual el combustible sólido hay que convertirlo en gránalos o briquetas antes de utilizarlo. Los gasificadores de flujo concurrente sufren también los problemas relacionados con los combustibles de alto contenido de cenizas (formación de escoria), en mayor proporción que los gasificadores de tiro directo.

Su eficiencia inferior en comparación con el sistema de flujo contracorriente es otro pequeño inconveniente del sistema de flujo concurrente, debido a la falta de intercambio interno de calor y al menor valor calorífico del gas. (OLADE, 1987) (Thomas B. Reed, 1988)

Gasificados de Flujo Cruzado

Los gasificadores de tiro transversal, que se ilustran esquemáticamente en la Figura 10. son una adaptación realizada para el empleo de carbón vegetal. La gasificación del carbón vegetal produce temperaturas muy elevadas (1 500°C y más) en la zona de oxidación que pueden producir problemas en los materiales empleados en la construcción del gasificador, es por este motivo que en los gasificadores de flujo cruzado, el propio combustible (carbón vegetal) sirve de aislamiento contra estas altas temperaturas.

Las ventajas del sistema están en poder funcionar en muy pequeña escala, pudiendo resultar económicamente viables.

Esta gran sencillez se debe al conjunto de depuración del gas (sólo un quemador de ciclón y un filtro caliente) que se puede emplear cuando se utiliza este tipo de gasificador junto con motores pequeños.

Un inconveniente de los gasificadores de flujo cruzado es su capacidad mínima de transformación del alquitrán y la necesidad consiguiente de emplear carbón vegetal de alta calidad o mejor dicho de bajo contenido de productos volátiles.

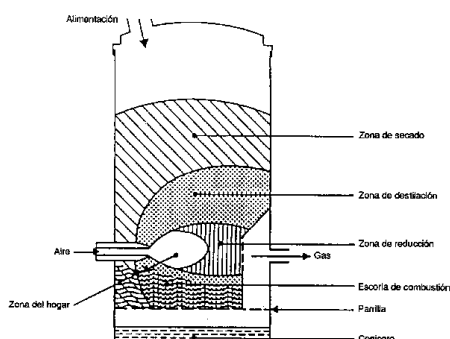


Fig. 10 Gasificador de Flujo Cruzado¹²

¹² Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 24 p.

Debido a la incertidumbre que pudiera existir sobre la calidad del carbón, algunos gasificadores de carbón vegetal emplean el sistema de corriente descendente para mantener al menos una capacidad mínima de cracking del alquitrán. (FAO, 1993) (OLADE, 1987)

2.1.3.2. Elementos de los gasificadores

Se considera un sistema a un conjunto de partes o elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo, por ello en sistema de gasificación se compone de un grupo de elementos que tienen como finalidad la producción de un gas de bajo poder calórico de calidad, necesario para poner en marcha un motor de combustión interna.

Básicamente los sistemas de gasificación están compuestos de los siguientes elementos, dicho sea de paso, algunos pueden ser reemplazados a consideración del diseñador mas es recomendable que cada uno de ellos este presente por lo menos una vez a lo largo del proceso, pues esto garantizara que el resultado sea el deseado:

◆ Gasificador:

El corazón y la esencia del diseño. El reactor o gasificador es la parte principal del sistema de gasificación, es el corazón de proceso y por ende es necesario ser muy cuidadoso, minucioso y detallista con cada uno de los parámetros de diseño y construcción del mismo, pues al trabajar con gas es imprescindible tomar todas las medidas de seguridad necesarias para que no existan sorpresas al momento de ponerlo en marcha.

Hacer una selección conveniente de acuerdo a los requerimientos del motor que va a ser puesto en marcha con el sistema de gasificación, es un

detalle que no debe pasarse por alto al momento de diseñar el gasificador, hay que tener en mente que dicho sistema estará operando dentro de una sociedad que demanda seguridad, factores como la temperatura, la presión, las posibles chimeneas o explosiones que este puede producir deben ser controladas y a medida de las posibilidades deben ser erradicadas de modo que esto no pueda afectar a nadie al momento de poner en marcha el vehículo dentro del tránsito público. En la Figura 11 se aprecia la figura de un gasificador de la marca TAIM WESER, diseñado con altos estándares de seguridad.



Fig. 11 Gasificador¹³

◆ **Separador ciclónico:**

Un separador ciclónico es un método de retirar partículas de un flujo de aire, gas o líquido, sin el uso de un filtro especializado, utilizando un vórtice para la separación. Este sistema trabaja bajo los efectos de rotación y la gravedad para separar mezclas de sólidos y fluidos. Este método también puede separar pequeñas gotas de un líquido de un flujo gaseoso.

¹³ Figura tomada de la página oficial de TAIM WESER fabricante de Sistemas de Biomasa: <http://www.taimweser.com/detalle-noticia.aspx?id=29>

Mediante una alta velocidad en el flujo del gas que se establece dentro del contenedor cilíndrico o cónico llamado ciclón. El gas fluye en un patrón helicoidal, comenzando desde lo más alto del ciclón a lo más bajo y finalizando en un flujo central ascendente que sale por el tubo de salida en la parte superior del ciclón.

Las partículas más densas en el flujo rotatorio tienen demasiada inercia para seguir la fuerte curva ascendente en la parte inferior del ciclón, y chocan contra la pared, luego caen hacia la parte más baja del ciclón donde pueden ser retiradas. En el sistema cónico, el flujo de rotación se hace cada vez más estrecho, reduciendo cada vez más el radio del flujo, esto permite remover cada vez más partículas pequeñas. La geometría del ciclón, junto con su flujo volumétrico, define el punto de corte del ciclón. Este es el tamaño de las partículas que serán retiradas del flujo con un 50% de eficiencia. Partículas más grandes que el punto de corte del ciclón serán retiradas con mayor eficacia, y partículas más pequeñas con menor eficacia.

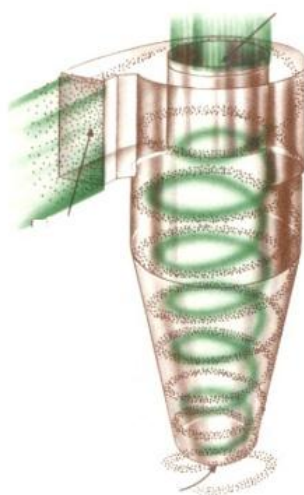


Fig. 12 Separador Ciclónico de Partículas¹⁴

¹⁴ Figura tomada del sitio web:

<http://www.engineeringfundamentals.net/FiltrosFaseGas/fundamentos.htm>

◆ **Sistemas de filtrado:**

Son equipos que serán acoplados al sistema de gasificación con el objetivo de depurar y limpiar la mayor parte de las partículas de polvo que en si por la fuente de donde proceden, están presentes en cantidades considerables, en si las tecnologías de depuración son bastas y dependen del tipo de partículas a ser removidas y mismas que varían acorde al fluido en el que se mueven. Básicamente se trata de pequeños tanques en cuyo interior se coloca los diferentes materiales de filtrado con una abertura en cada extremo, una para la admisión de gas potencialmente sucio, y la otra para la salida del mismo luego de haber pasado por el material filtrante.

Más adelante se profundizará un poco dentro de estas tecnologías, pero mientras, es conveniente indicar que usualmente se utiliza lana de madera o serrín largo pues este al ser de naturaleza orgánica, permite absorber el vapor de agua y las partículas más pequeñas que no lograron ser retenidas dentro del filtro ciclónico.



Fig. 13 Tanque de Filtrado de Partículas y Vapores

◆ **Sistemas de enfriamiento:**

En el campo de enfriamiento de fluidos, existe un sinnúmero de sistemas, que funcionan de manera eficiente para disminuir la temperatura de este, de modo que pueda mantenerse en el rango requerido para su procesamiento.

Usualmente este sistema tiene como objeto ser enfriado por aire, y este puede ser proporcionado por un ventilador o solo por la circulación del mismo a través del enfriador. Para trabajar con el sistema de gasificación, el sistema de refrigeración tiene otro objetivo, que es el de condensar los alquitranes y los ácidos, por ello es imprescindible que el enfriador posea una salida o desfogue de dichos condensados.

Con propósitos prácticos, en la mayoría de investigaciones y experimentos se suele seleccionar radiadores vehiculares por la facilidad y prestaciones que estos presentan para su instalación y utilización, además de poseer una válvula de desfogue que en este proceso será la que permitirá purgar al sistema de los residuos condensados que se mantendrán en este.



Fig. 14 Enfriador Automotriz¹⁵

¹⁵ Figura tomada del sitio web oficial de la marca LADA: <http://www.xn--ladaespaa-s6a.es/>

◆ **Soplador o Succionador.**

El corazón del sistema de gasificación, va de la mano con el diseño y la selección del tipo de gasificador que va a ser utilizado, y también de cómo se lo desee acoplar, su objetivo es permitir el ingreso de aire a la zona de reducción del gasificador de modo que su temperatura alcance el nivel indicado para que en la zona de pirolisis se genere gas.

En instalaciones pequeñas de gasificación, especialmente cuando el diseño va a ser aplicado en pequeños motores de generación, o en motores automotrices, muchos diseñadores prefieren utilizarlo para succionar el gas y guiarlo de esta manera al motor, al contrario de diseñadores que construyen gasificadores de gran capacidad que necesitan una gran cantidad de aire para elevar la temperatura de sus zonas de oxidación, estos últimos prefieren aplicar sopladores en sus procesos.



Fig. 15 Soplador y Succionador.

ESQUEMA GENERAL.

Finalmente un esquema general indica cómo se ensambla el sistema de gasificación, junto con cada uno de sus elementos, cabe destacar que su

disposición y orden de ensamblado puede variar acorde con los distintos tipos de gasificadores y los requisitos que ellos tienen para poder generar gas de calidad.

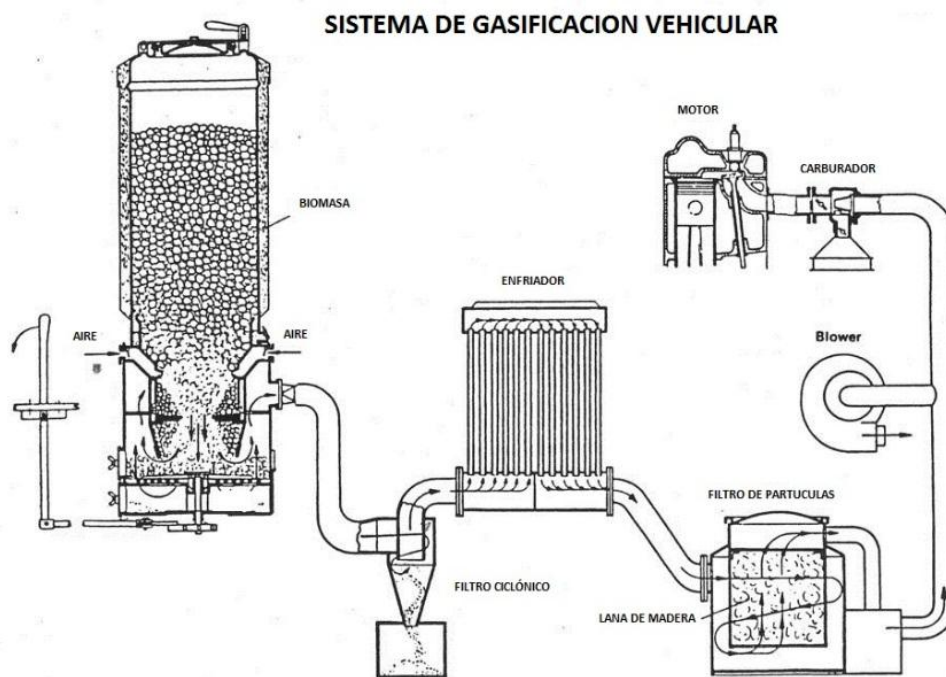


Fig. 16 Sistema de Gasificación Vehicular.

2.1.4. El Gas de Gasificación (GG)

El uso de GG de madera o biomasa como combustible en motores de combustión interna incrementa el potencial de uso de la biomasa como fuente renovable de energía, lo que ofrecerá importantes beneficios medioambientales como (Fonseca, 2002):

Reducción de emisiones netas de dos de los principales gases causantes del efecto invernadero: el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4). A pesar que el dióxido de carbono es una emisión normal en cualquier proceso de combustión, incluso de la respiración humana, animal y vegetal, sólo se considera nocivo al ser de origen fósil, puesto que el

contenido neto de carbono sobre la superficie terrestre aumenta al incorporar elementos extraídos del interior de la corteza terrestre como se puede observar en la -Figura 17. En el caso de la madera, el dióxido de carbono generado en el proceso de combustión, se devuelve a la atmósfera, desde donde fue tomado en el proceso de formación de la misma (fotosíntesis). Se reduce, igualmente, las emisiones de metano, puesto que al usar las podas de árboles y demás residuos agrícolas para generar GG, se evita su descomposición natural y con ello la emisión no controlada del metano a la atmósfera. (OLADE, 1987)

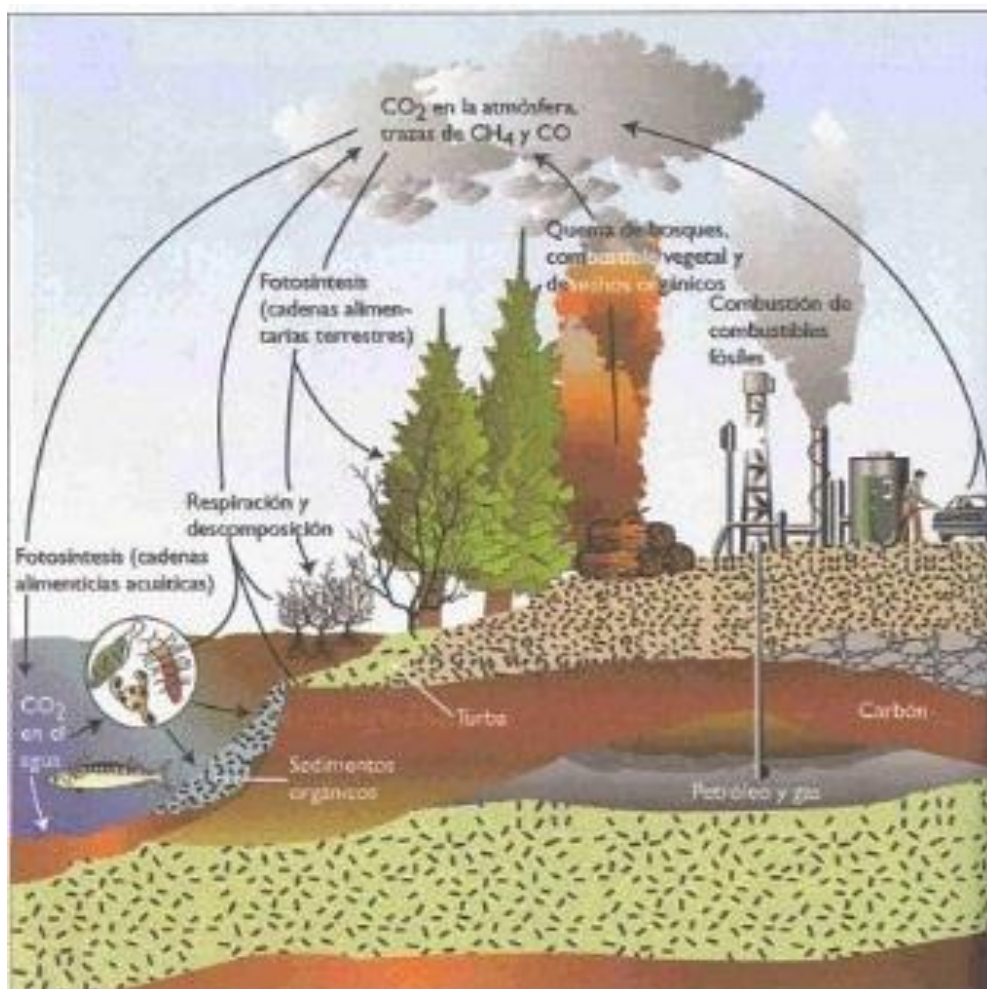


Fig. 17 Ciclo del Carbono¹⁶.

¹⁶ Figura tomada del Post de Johnson Matthey (www.jmcatalysts.com) en la web: <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/6352162/Ciclo-del-carbono.html>

Fuera de lo mencionado anteriormente, que es considerado uno de los principales aportes al momento de utilizar GG, existen otras consideraciones importantes al momento de realizar esta aplicación:

- ◆ Reducción de las emisiones de óxidos de azufre que normalmente se forman durante la combustión de combustibles fósiles, los cuales al convertirse en ácido sulfúrico, contribuye a las lluvias ácidas. Por el contrario, dado que la madera no suele tener azufre, o si lo tiene, es en pequeñas cantidades, el impacto como causante de lluvia ácida es mínimo.
- ◆ Reducción de la emisión de óxidos de nitrógeno, otro de los compuestos causantes de lluvia ácida, que se forma durante la combustión por la oxidación a alta temperatura del nitrógeno contenido en el aire. En la madera esta emisión es muy reducida pues las temperaturas normales de combustión alcanzadas son inferiores a las alcanzadas con los combustibles fósiles convencionales.
- ◆ Finalmente desde un punto de vista técnico, la utilización del GG en motores de combustión interna son fácilmente usados, pues es necesario simplemente suministrar oxígeno, obteniendo como resultado una reacción más completa que la obtenida con combustibles líquidos.

2.1.4.1. Teoría de la gasificación Termoquímica

Mediante la gasificación termoquímica, los combustibles sólidos como la madera o en general la biomasa se transforma en un gas combustible al ser sometido a elevadas temperaturas. La gasificación tiene tres etapas bien definidas, Pirólisis, Oxidación y Reducción.

- ◆ **Pirólisis:** También conocida como descomposición térmica o destilación. Se produce cuando el combustible entra en el gasificador, y empieza cuando las partículas del combustible llegan a una temperatura determinada (400 °C) en ese instante comienza la pirolisis, cuando el combustible se descompone en una mezcla de residuos carbonosos, estos residuos reciben el nombre de char. Junto a esta mezcla también se obtiene líquidos, en su mayoría alquitranes y vapores condensables de peso molecular variable, además de gases volátiles formados por hidrocarburos de bajo peso molecular. (Barrio M., 2001)
- ◆ **Oxidación o Combustión:** Es el calor necesario para romper los enlaces químicos del combustible en la pirólisis, además de mantener la temperatura de la reacción y aportar la energía que consume las reacciones en la etapa de reducción. Es obtenido por la combustión total o parcial del combustible sólido.
- ◆ **Reducción o Gasificación:** Es la etapa de la gasificación donde la mayor parte de las reacciones ocurren, por medio de las cuales tanto los sólidos remanentes junto con los líquidos y los vapores de peso molecular variable se convierten en gas. Estas reacciones empiezan a ocurrir cuando la temperatura del sistema empieza a alcanzar los 700 °C. (Thomas B. Reed, 1988)

En la Tabla 3 se presenta una recopilación de las reacciones que están presentes dentro proceso de gasificación:

ETAPA	NOMBRE DE LA REACCIÓN	REACCIÓN	CALOR (KJ/mol)
Pirólisis		Biomasa + calor → Char + Líquidos + gases	
Oxidación	Combustión parcial	$C + 1/2 O_2 \leftrightarrow CO$	-123,1
	Combustión total	$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$	-405,9
	Gasificación con dióxido de carbono	$C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$	159,7
	Gasificación con vapor	$C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$	118,9
Reducción	Gasificación con hidrógeno	$C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4$	-87,4
	Reacción de desplazamiento Agua-Gas	$CO + H_2O \leftrightarrow H_2 + CO_2$	-40,9
	Reacción de Metanación	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$	-206,3

Tabla 3 Reacciones Químicas de la Gasificación

2.1.4.2. Composición y poder calorífico del GG

El poder calorífico del GG depende del agente gasificante que se utiliza durante la gasificación, dichos agentes pueden ser aire, vapor de agua, oxígeno o hidrógeno, en la Tabla 4 se encuentran los tipos de gas de gasificación:

Tipo	Poder Calorífico	Agente de Gasificación
Poder calorífico bajo	4 - 6 MJ/m ³ n	Aire
Poder calorífico medio	12 – 18 MJ/m ³ n	Oxígeno o Vapor
Poder calorífico alto	40 MJ/m ³ n	Hidrógeno

Tabla 4 Tipos de Gas según su agente Gasificante¹⁷

Para los motores de combustión interna el gas de gasificación que se usa es el de poder calorífico bajo, este gas es el denominado GG mismo al que se seguirá haciendo referencia en adelante. Para instalaciones de generación de energía con turbinas de gas por ejemplo, se usa el gas de

¹⁷ Tabla tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 84 p.

poder calórico medio y en la industria química, para la producción de etanol por ejemplo, se usa el gas de poder calórico alto. (Fonseca, 2002)

La composición principal del GG es principalmente de monóxido de carbono, hidrógeno y algo de metano, como sustancias combustibles, el resto son sustancias inertes como nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua. Además GG contiene también alquitrán condensable, ácidos y polvo que pueden ocasionar problemas operativos y un desgaste anormal en el motor.

La composición exacta del GG es muy variable pues depende de la naturaleza del combustible sólido, de su contenido de humedad, del tipo de gasificador que se utilice, así como de parámetros de operación como el agente gasificante, la temperatura y presión de reacción.

Otro parámetro importante al momento de analizar la calidad del GG es observar los porcentajes límites en los que fluctúa su composición, cuando la gasificación se realiza con aire como medio gasificante, se observa en la Tabla 5: los rangos en los cuales fluctúa la composición del GG (FAO, 1993) y por esta razón, el poder calórico inferior del GG oscila entre los 4000 y 6000 kJ/nm³.

Componente	Símbolo	(%vol)
Monóxido de carbono	CO	15 – 32
Hidrógeno	H ₂	4 – 22
Metano	CH ₄	0 – 4
Oxígeno	O ₂	0 – 2
Dióxido de carbono	CO ₂	1 – 15
Nitrógeno	N ₂	45 – 65

Tabla 5 Composición Volumétrica del GG¹⁸

¹⁸ Tabla tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 44 p.

2.1.4.3. Requerimientos del GG para trabajar en motores

◆ Requerimientos de pureza de gas

Cuando se emplea un sistema de gasificación junto con un motor de combustión interna de 4 tiempos, un requisito importante es que este se alimente con gas suficientemente libre de polvo, alquitranes y ácidos. Las cantidades tolerables de estas sustancias variarán dependiendo del tipo y del equipo del motor.

Algunas investigaciones dan como cantidades medias tolerables, para los motores actualmente disponibles, los valores indicados en la Tabla 6

Polvo:	Menos de 50 mg/m³ de gas. Preferentemente 5 mg/m³ de gas.
Alquitranes:	Menos de 500 mg/m ³ de gas.
Ácidos:	Menos de 50 mg/m ³ de gas (medido como ácido acético).

Tabla 6 Cantidades medias tolerables del GG¹⁹

◆ El índice de compresión del motor

En el caso de los motores alimentados con gasolina, el índice posible de compresión está limitado por el número de "octanos" del combustible, que es una medida del índice de compresión en que tiene lugar la detonación. Las mezclas de gas pobre y aire presentan unos números de octanos superiores a los de las mezclas de gasolina y aire.

Por este motivo, pueden emplearse unos índices de compresión superiores (hasta 1:11) con el gas pobre, lo que se traduce en una mejor

¹⁹ Tabla tomada de la web oficial de la Food and Agriculture Organization (FAO): http://www.fao.org/docrep/t0512s/t0512s03.htm#2.1.5_requisitos_de_calidad_del_gas_para_un_funcionamiento_sin_averías

eficiencia térmica del motor y en un aumento relativo de la potencia de salida en el eje del motor. (OLADE, 1987)

En motores con índices de compresión menor, el comportamiento puede ser variable y dependiente de una serie de factores, como la arquitectura del motor, la disposición y el reglaje de válvulas, calidad de materializares de los componentes del motor, etc. lo que puede afectar en el comportamiento de motor, dado como resultados motores que no pueden elevar la velocidad del motor, o en definitiva no consiguen su encendido, por ello es conveniente que el motor se ajuste a los requerimientos que exigen los sistemas de gasificación. (FAO, 1993)

En la Figura 18 se presenta un esquema del comportamiento del motor en lo referente a su eficiencia térmica acorde a los distintos valores de los índices de compresión que el motor puede tener

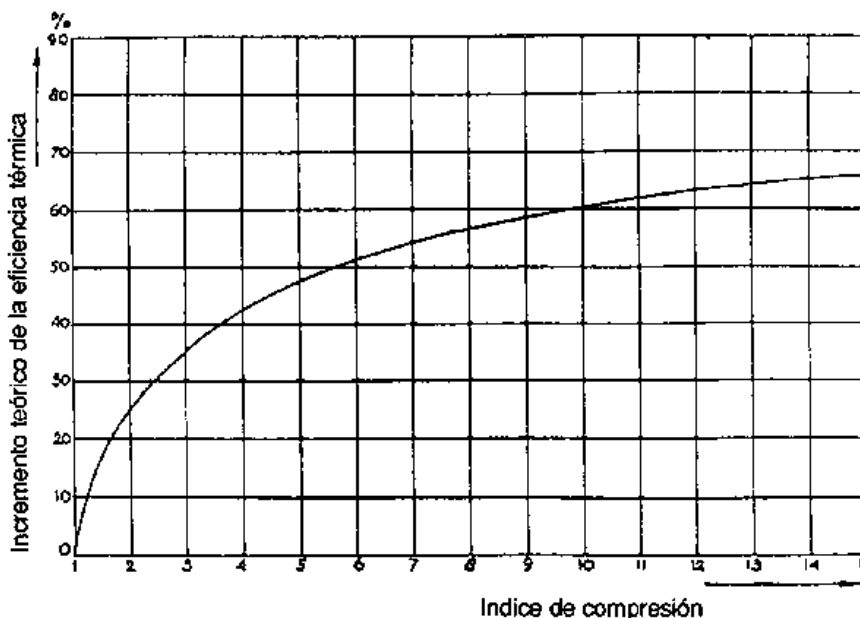


Fig. 18 Relación entre el índice de compresión y la eficiencia térmica de un motor²⁰.

²⁰ Figura tomada de la web oficial de la Food and Agriculture Organization (FAO): http://www.fao.org/docrep/t0512s/t0512s03.htm#2.1.5_requisitos_de_calidad_del_gas_para_un_funcionamiento_sin_averías

2.1.4.4. Depuración del GG

El dimensionamiento de los sistemas de filtrado y depuración de los gases producidos en el gasificador han originado modernas teorías de hidrodinámica, magneto-hidrodinámica y de la viscosidad.

Los gases que interesan para el funcionamiento de un motor son: hidrógeno, monóxido de carbono y metano. Estos gases, mezcladas en proporciones estequiométricamente correctas con el aire, formarán una mezcla inflamable que al entrar en los cilindros del motor, será detonada por la chispa de la bujía.

Al producirse tales gases en el gasificador, este también genera otros productos que podrían perjudicar al motor, tales como los materiales solubles en agua, y otros materiales en forma de agua.

Generalmente los materiales solubles en agua son el alquitrán y la solución de amoníaco, a pesar de estar juntos dentro del mismo flujo de gas, no se mezclan.

En la Tabla 7 se muestra un análisis químico del alquitrán con su respectiva composición porcentual en masa:

Betún	61,3%
Creosota	13,0%
Aceite carbónico	12,1%
Aceites leves	9,4%
Nafta cruda	2,6%
Agua	1,6%

Tabla 7 Análisis químico del Alquitrán

En la Tabla 8 se tiene de una muestra de 100 ml. de solución de amonio la siguiente composición.

Amoniaco fijo	1,5 g
Amoniaco libre	0,5 g
Sulfatos	0,25 g
Cianatos	0,01 g
Tiosulfatos	0,1 g
Tiocianatos	0,2 g
Fenoles	0,25 g

Tabla 8 Análisis químico del Alquitrán

Las materias en forma de polvo tales como: ceniza, el polvo de carbón, el negro del humo, la arena, partículas no quemadas del combustible sólido, etc.

Cuando el combustible sólido utilizado tiene una alta cantidad de materiales solubles en agua como es el caso de la leña el mejor método para eliminar estos materiales es realizando el “Cracking” en el interior del propio gasificador, este método consiste en hacer pasar el gas entre las brasas del propio combustible, de cuya reacción se obtendrá principalmente hidrógeno y monóxido de carbono.

Para obtener sistemas de filtración en y depuración de los gases del proceso de gasificación, es necesario conocer la naturaleza de los gases que este produce.

Básicamente existen 2 tipos de partículas que están presentes en el proceso de gasificación, estas son las partículas sólidas y las partículas líquidas.

Partículas sólidas:

- ◆ Partículas gruesas (>10 micras)
- ◆ Partículas finas (entre 1 y 10 micras)
- ◆ Humo (< 1 micron)

Partículas líquidas:

- ◆ Partículas gruesas (>10 micras)
- ◆ Partículas finas (entre 1 y 10 micras)
- ◆ Neblina (< 1 micron)

Como resultado de la condensación de las partículas líquidas y las colisiones de las sólidas, se forman partículas mayores denominadas aglomerados.

Existen dos fuerzas que son propias de los aglomerados, y que dada su incidencia en el desempeño de los sistemas de filtración, es necesario mencionarlas, estas son las fuerzas de cohesión y las fuerzas de adhesión. Las fuerzas de cohesión son las encargadas de mantener unidas las partículas y son estas las que se encargan de aumentar el tamaño de los aglomerados

Las fuerzas de adhesión, son las encargadas de que los aglomerados se adhieran a las paredes de los ductos y a los demás obstáculos encontrados en el flujo del gas.

Es por esto que todos los sistemas de filtración y depuración de los gases de los sistemas de gasificación utilizan estas dos fuerzas para separar los aglomerados sólidos y líquidos del gas.

Para lograr tales resultados se tiene 4 medios puntuales:

- ◆ Fuerzas de inercia
- ◆ Asentamiento directo
- ◆ Fuerzas electrostáticas

FUERZAS DE INERCIA

Cuando la corriente de gas que arrastra partículas sólidas es obligada a cambiar su trayectoria por acción de deflectores u otros obstáculos

mecánicos, las partículas se separan de la corriente por acción de las fuerzas de inercia.

La Figura 19 ilustra este fenómeno presentando una partícula de aglomerado arrastrada por el flujo de gas que al aproximarse al flujo de agua indica como las línea de la corriente se abren y se cierran de inmediato, pero debido a la inercia de la partícula esta continúa en trayectoria rectilínea y choca con la gota de agua y al tratarse de agua, con una inercia mayor que la del aglomerado, este es arrastrado. (OLADE, 1987)

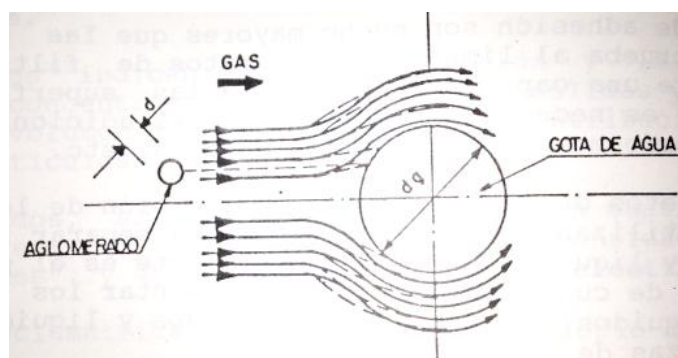


Fig. 19 Separación por efecto de fuerzas de inercia²¹

◆ Equipos que trabajan con fuerzas de gravedad

El equipo más comúnmente utilizado es la cámara de polvo, y el más conocido dicho sea de paso, y se trata de estanque donde el gas donde el gas se mueve horizontal y lentamente, están provistos de puertas de inspección para retirar los aglomerados depositados en ellos. En general son utilizados en la primera etapa de filtración por su tamaño grande y voluminoso. (OLADE, 1987)

²¹ Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 84 p.

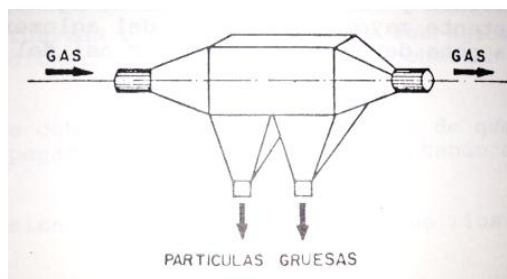


Fig. 20 Separación por efecto de fuerzas de inercia²²

◆ Equipos que utilizan la fuerza centrífuga

Los equipos más comunes que trabajan con fuerzas centrífugas, con básicamente los ciclones y las trampas de polvo.

Los ciclones están contruidos por dos tubos concéntricos donde generalmente el tubo externo termina en un cono en la parte inferior, los gases son obligados a tangencial el tubo externo por la parte superior a alta velocidad de forma helicoidal descendente hasta llegar a la extremidad inferior del tubo interior y al final sale por este por su extremo superior como se visualiza en la Figura 21, cabe destacar que estos sistemas deben trabajas en forma vertical para facilitar la separación de os aglomerados. (OLADE, 1987)

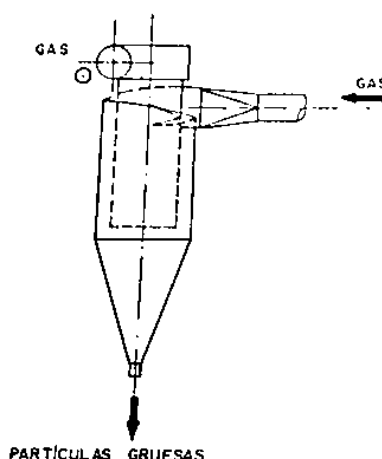


Fig. 21 Esquema de funcionamiento de un ciclón²³

²² Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 84 p.

Las trampas de polvo conforme la Figura 22 consiste en cámaras tipo estanque donde los gases entran por una tubuladura central y se expande en dirección al fondo, estos gases son obligados a salir lateralmente o por la parte superior obligando a los gases a realizar un giro de 180° en relación a la dirección de entrada, es este cambio de dirección el que se encarga de separar las partículas gruesas sólidas y líquidas. (OLADE, 1987)

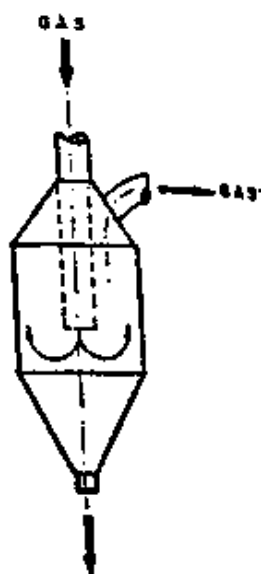


Fig. 22 Esquema de funcionamiento de una trampa de polvo²⁴

ASENTAMIENTO DIRECTO

Este fenómeno se produce cuando existen condiciones para el impacto entre partículas de cualquier tamaño y la superficie de deposición, El asentamiento directo se usa en filtros gruesos o en una serie de bandejas perforadas o telas de fibra o metálicas. Generalmente los equipos que usan el asentamiento directo son los filtros de mangas, de papel y de fibra.

²³ Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 86 p.

²⁴ Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 86 p.

En este caso los aglomerados arrastrados por el flujo de gas son obligados a pasar por obstáculos constituidos por fibras, por tejidos o por lanas que los retienen. Generalmente la eficiencia de estos equipos disminuye con el tamaño de los aglomerados y aumenta con la disminución de la velocidad del gas.

Todos estos filtros consiguen retener las partículas gruesas y finas, los elementos vaporizados, neblinas y humo. En estos equipos la velocidad del gas depende de la cantidad de la granulometría de los aglomerados que arrastra el gas. (OLADE, 1987)

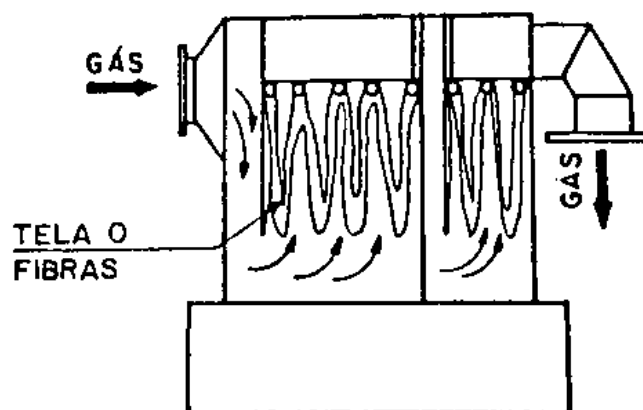


Fig. 23 Esquema de funcionamiento de un filtro de manga²⁵

FUERZAS ELECTROSTATICAS

Este tipo de filtros aprovecha de que la tonalidad de los aglomerados en suspensión en el gas pueden adquirir cargas electrostáticas. La creación de un campo eléctrico en el ducto donde fluye el gas hace que las partículas eléctricamente cargadas se depositen sobre los electrodos de cargas eléctricas opuestas.

²⁵ Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 91 p.

La eficiencia de retención de los aglomerados aumenta cuando se aseguran velocidades bajas del gas al pasar por los filtros electrostáticos. (OLADE, 1987)

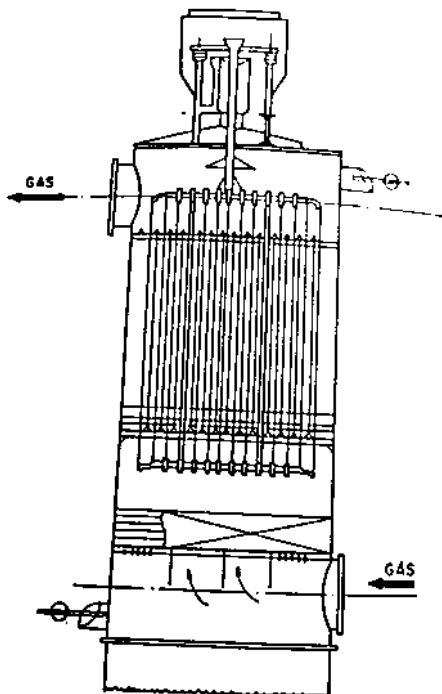


Fig. 24 Esquema de funcionamiento de un filtro de manga²⁶

2.1.4.5. Refrigeración del GG

Existen varios motivos por los cuales es necesario refrigerar el GG:

- ◆ Prevenir el proceso de auto inflamación, pues las altas temperaturas del GG, equivalen a altas temperaturas de mezcla admitida y con ello muy altas temperaturas de compresión alcanzando fácilmente la temperatura de auto-inflamación de la mezcla GG / aire.
- ◆ Para aumentar la densidad del gas y con ello de la mezcla GG / aire, para aumentar la eficiencia volumétrica y así permitir que entre el

²⁶ Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 92 p.

máximo de gas combustible en el cilindro del motor durante la carrera de admisión.

- ♦ Contribuye a la depuración del GG, evitando la condensación de la humedad contenida en el gas producido al momento de mezclarse con el aire y antes de entrar en el motor.

La refrigeración del GG pueden ser principalmente de dos tipos: seca y húmeda. Entre los equipos de refrigeración seca, tenemos los de convección natural por aire que para usos más prácticos un radiador automotriz es una excelente solución, donde el GG es conducido a través de los ductos de refrigeración con alta superficie de transferencia de calor, los de convección forzada con aire, donde un ventilador (aporte adicional de energía) fuerza la circulación del aire alrededor de los tubos de gas, y los de tipo intercambiador de calor gas / líquido refrigerante, usando normalmente agua. En estos últimos se puede evitar la aportación adicional de energía si se cuenta con una fuente continua de agua a baja temperatura.

Los refrigeradores de gas de tipo húmedo, llamados también lavadores de gases, tienen la ventaja de permitir además, depurar el gas, eliminando eficazmente las partículas y gases solubles como el amoníaco y el ácido clorhídrico. Existen lavadores de gases de tipos muy diferentes, pero el principio siempre es el mismo: se lleva el gas en contacto directo con un medio fluido (generalmente agua o algún compuesto orgánico) que se rocía en la corriente de gas por medio de un dispositivo de inyección apropiado. Los principales problemas de este tipo de refrigerador, es que necesita grandes cantidades de agua o medio fluido, y por lo tanto se genera un

efluente líquido con alta cantidad de contaminantes que es preciso depurar.
(FAO, 1993)

2.1.5. Riesgos del uso del GG

Sus principales clases son los riesgos tóxicos, los de incendio y de explosión.

RIESGOS TÓXICOS

Un componente importante del gas pobre es el monóxido de carbono, gas extremadamente tóxico y peligroso debido a su tendencia a combinarse con la hemoglobina de la sangre, lo que evita la absorción y distribución del oxígeno. En la Tabla 9 se presenta un resumen de los efectos ocasionados por diferentes concentraciones de monóxido de carbono en el aire. (Fonseca, 2002)

Afortunadamente las instalaciones normales de gas pobre trabajan por succión, de modo que aunque se produzca una pequeña fuga en la instalación, no se escapan del equipo gases peligrosos durante su funcionamiento. Sin embargo, la situación es distinta durante la puesta en marcha y en el cierre de la instalación. (FAO, 1993) (Fonseca, 2002)

Durante la puesta en marcha generalmente se da salida al gas, siendo necesario garantizar que los gases producidos no se retienen en una habitación cerrada. Como norma, una chimenea apropiada proporciona suficiente seguridad.

Durante el cierre de la instalación se produce un aumento de presión en el gasificador, ocasionado por el combustible todavía caliente y en fase de pirólisis. Como resultado de ello, se liberan de la instalación gases que

contienen monóxido de carbono, durante un período relativamente corto. Debido al peligro de estos gases, generalmente se recomienda que la instalación del gasificador se sitúe al aire libre, si es necesario protegida con un techo. (Barrio M., 2001)

% de CO en el aire	ppm	EFFECTOS
0,005	50	Sin efectos importantes
0,02	200	Posiblemente dolor de cabeza, en la frente y ligero durante 2 ó 3 horas
0,04	400	Dolor en la frente y náuseas, después de 1 a 2 horas; en la parte posterior de la cabeza, después de 2,5 a 3,5 horas
0,08	800	Dolor de cabeza, mareos y náuseas en 45 minutos; colapso y posiblemente inconsciencia, en 2 horas
0,16	1 600	Dolor de cabeza, mareos y náuseas en 20 minutos; colapso e inconsciencia y posible fallecimiento, en 2 horas
0,32	3 200	Dolor de cabeza y mareos en 5 a 10 minutos; inconsciencia y peligro de muerte, en 30 minutos
0,64	6 400	Dolor de cabeza y mareos, en 1 a 2 minutos, inconsciencia y peligro de muerte, en 10 a 15 minutos
1,28	12 800	Efecto inmediato; inconsciencia y peligro de muerte en 1 a 3 minutos

Tabla 9 Efectos tóxicos de diferentes concentraciones de monóxido de carbono en el aire²⁷

RIESGOS DE INCENDIO

Los riesgos de incendio pueden provenir de las siguientes causas:

- ◆ Elevada temperatura exterior del equipo;
- ◆ Riesgos de chispas al recargar el combustible;
- ◆ Llamas en la entrada de aire del gasificador o en la tapa de recarga.

²⁷ Tabla tomada de la web oficial de la Food and Agriculture Organization (FAO): http://www.fao.org/docrep/t0512s/t0512s03.htm#2.1.5_requisitos_de_calidad_del_gas_para_un_funcionamiento_sin_averías

Los riesgos se pueden reducir considerablemente adoptando las siguientes precauciones:

- ◆ Aislamiento de las partes más calientes del sistema;
- ◆ Instalación de un dispositivo de llenado de doble compuerta;
- ◆ Instalación de una válvula de retorno de la llama en la entrada del gasificador.

RIESGOS DE EXPLOSIÓN

Se pueden producir explosiones si el gas está mezclado con suficiente aire para formar una mezcla explosiva. Esto puede producirse por varias razones:

- ◆ Filtración de aire en el sistema de gas;
- ◆ Penetración de aire al repostar combustible;
- ◆ Filtración de aire en un gasificador frío que contiene todavía gas que, en consecuencia, se quema;
- ◆ Retroceso de la llama desde el quemador de gases de escape, cuando el sistema se carga con una mezcla combustible de aire y gas durante el arranque.

La filtración de aire en el sistema de gas no da lugar generalmente a explosiones. Si se produce una filtración de aire en la parte inferior del gasificador (suele ser el caso) se produce una combustión parcial del gas, lo que eleva las temperaturas de salida del gas, disminuyendo su calidad.

Cuando los gases pirolíticos de la sección del depósito se mezclan con aire se puede formar una mezcla explosiva. No es infrecuente que esto

produzca pequeñas explosiones, relativamente inofensivas, especialmente cuando el nivel de combustible del depósito es relativamente bajo.

Se pueden evitar los riesgos para el operario si se queman los gases en la sección del depósito introduciendo un trozo de papel encendido o algo similar, inmediatamente después de abrir la compuerta del combustible. Otra posibilidad es instalar un sistema de relleno de doble compuerta.

La filtración de aire en un gasificador frío y el encendido inmediato producirá una explosión. Los sistemas cuando están fríos deben ventilarse siempre cuidadosamente, antes de encender el combustible.

Durante el arranque de una instalación, los gases como norma no se pasan por toda la sección de filtrado, a fin de evitar la obturación de los filtros por los alquitranes producidos durante el arranque. El filtro puede contener todavía aire y al producirse un gas inflamable y conducirlo a través de la sección de filtrado -a veces muy voluminosa- se puede producir una mezcla explosiva. Si en este momento se prende el gas en la salida del ventilador puede producirse un retroceso de la llama, dando lugar a una violenta explosión en la sección de filtrado. Por esta razón, es aconsejable equipar la salida del ventilador con un cierre hidráulico. (OLADE, 1987)

RIESGOS AMBIENTALES

Durante la gasificación de la madera o de los residuos agrícolas, se producen cenizas (en el gasificador y en la sección de depuración) y líquido condensado (principalmente agua). Este último puede estar contaminado por resinas fenólicas y alquitrán.

Las cenizas no constituyen un riesgo ambiental y pueden eliminarse de forma normal. Para el líquido condensado que contiene alquitrán la situación

es diferente y su eliminación en gran número de gasificadores puede tener efectos ambientales perturbadores. No se dispone de datos definitivos sobre biodegradación de los componentes fenólicos y los alquitranes de los líquidos condensados, siendo necesario estudiar cuidadosamente su eliminación.

Las propiedades de las emisiones de escape de los motores que funcionan con gas pobre se consideran generalmente aceptables, comparables a las de los motores diesel. (OLADE, 1987)

2.1.6. Regulación de la mezcla en motores a gas

La potencia desarrollada junto a la economía y la seguridad del funcionamiento de un motor a gas dependen de las proporciones de la mezcla aire combustible y de la cantidad de mezcla que entra al cilindro en la carrera de admisión. Factores que son controlados por el sistema de Regulación del motor, el cual actúa sobre el sistema de admisión de gas y de aire ayudando a dosificar el contenido de cada uno en la mezcla y regula la cantidad de mezcla admitida. Para tener un adecuado desempeño del motor, adicionalmente, es importante garantizar la homogeneidad de la mezcla pues si alguna parte es más rica que la media, puede producirse auto-inflamación en sus dos formas: detonación o pre-encendido, pudiendo causar daños graves en el motor. (Kinderland, 2002)

Se tiene básicamente 2 sistemas de regulación:

- ♦ Regulación del llenado del cilindro o también llamada regulación de cantidad

- ♦ Regulación de la composición de la mezcla llamada también regulación de calidad.

Los motores de gas normalmente trabajan con los dos sistemas de regulación y existen principalmente las siguientes 4 configuraciones:

El aire y el gas se suministran al cilindro por separado (Figura 25). La concurrencia y la mezcla tienen lugar en el mismo cilindro, la regulación de la mezcla y el llenado se efectúan por medio de válvulas de mariposa en los conductos del gas y aire, movidas por el regulador, o bien por medio de la variación de la carrera de ambas válvulas de admisión. (Kinderland, 2002)

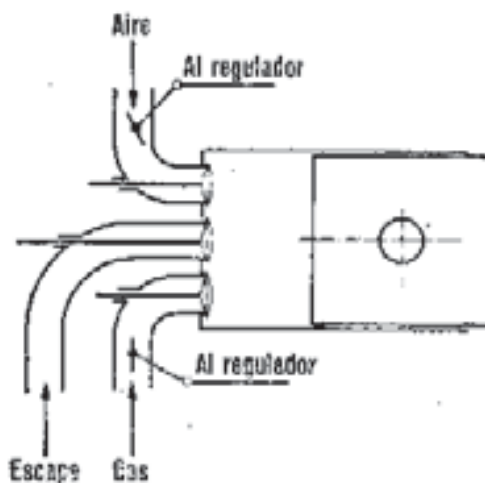


Fig. 25 Primera configuración²⁸

El aire y el gas se reúnen en una cámara de mezcla y penetran en el cilindro por una válvula de admisión única (Figura 26). Se gradúa la relación de aire con el gas de la mezcla por medio de válvulas situadas en las tuberías que conducen el aire y el gas a la cámara de mezcla. La variación del llenado del cilindro se realiza por medio de una válvula de mariposa situada en el conducto que comunica la cámara de mezcla con el cilindro y que es accionada por el regulador. (Kinderland, 2002)

²⁸ Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 92 p.

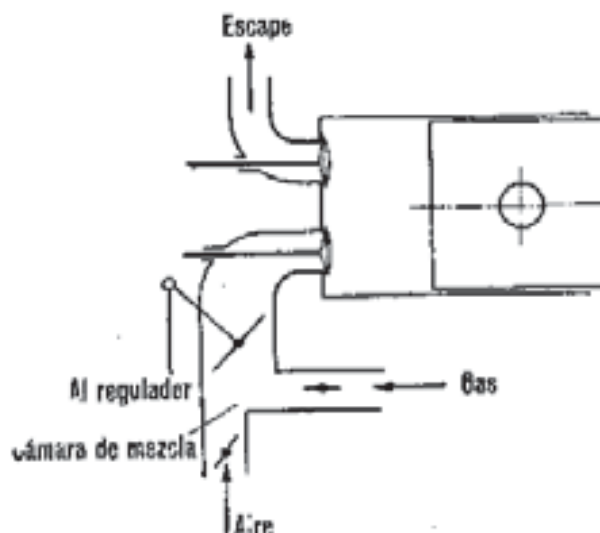


Fig. 26 Segunda configuración²⁹

El aire y el gas se reúnen en una cámara de mezcla y penetran en el cilindro por una válvula de admisión única (Figura 27). La variación del llenado del cilindro se efectúa variando la carrera de la válvula de admisión y la composición de la mezcla se gradúa por medio de una válvula para el gas, solidaria a la válvula de admisión. (Kinderland, 2002)

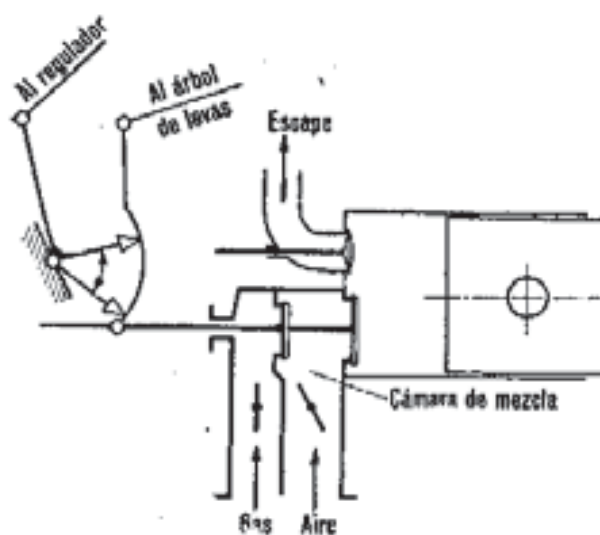


Fig. 27 Tercera configuración³⁰

²⁹ Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 92 p.

³⁰ Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 92 p.

El aire y el gas se reúnen en una cámara de mezcla y penetran en el cilindro por una válvula de admisión única (Figura 28). La relación de la mezcla y el llenado se regulan por medio de válvulas de mariposa colocadas en las tuberías que conducen a la cámara de mezcla y que son accionadas por el regulador. (Kinderland, 2002)

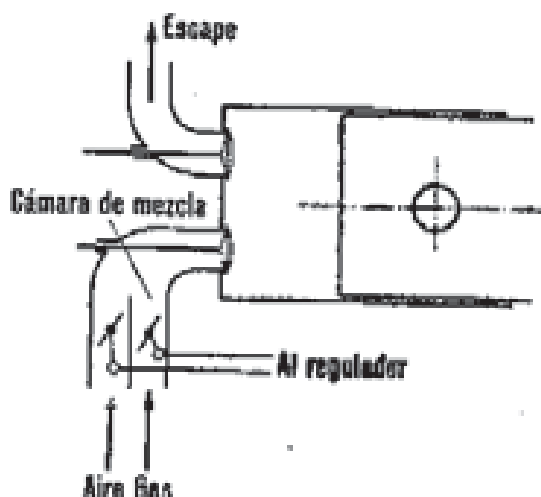


Fig. 28 Cuarta configuración³¹

Finalmente es necesario ajustar factores de mezcla como tal y de adelanto al encendido para que el sistema ponga en marcha el motor.

Debido a la baja velocidad de combustión de la mezcla de gas y aire, hay que cambiar generalmente el punto de encendido en los motores de gasolina alimentados con gas pobre. (Kinderland, 2002)

Adelanto al encendido

El punto óptimo de encendido en los motores de gasolina depende de la carga y la velocidad del motor. Este es también el caso en el funcionamiento con gas pobre. Los experimentos realizados indican que, en general, el punto de encendido debe adelantarse de 10 a 15° lo que lleva a avances del encendido de 35 a 40°, antes del punto muerto superior (PMS). (FAO, 1993)

³¹ Figura tomada de: Olade (Organización Latinoamericana de Energía). Manual de Gasificación. Quito-Ecuador. 1987. 92 p.

Mezcla estequiométrica

Es evidente que los máximos valores caloríficos de la mezcla combustible se logran para el máximo valor calorífico del propio gas pobre. Como se expondrá después, el valor calorífico depende del diseño del gasificador y de las características del combustible que alimenta el gasificador. Es importante reducir al mínimo las pérdidas de calor del gasificador a fin de lograr un alto valor calorífico del gas. El contenido de humedad y la distribución por tamaños son dos de las características más importantes del combustible.

Al mezclar el gas pobre con el aire de combustión, existe una razón adicional de pérdida de potencia, debido a los cambios en la composición del gas y también a las variaciones de la caída de presión en la instalación del gasificador, siendo muy difícil mantener continuamente una mezcla estequiométrica de gas pobre y aire.

Como tanto el exceso como la falta de aire ocasionan una disminución del valor calorífico de la mezcla (por unidad de volumen), ambos ocasionarán una disminución de la potencia tal como se ilustra en la Figura 29.

La única forma posible de ajustar la mezcla para su combustión estequiométrica consiste en instalar una válvula operada a mano en la entrada de aire de combustión del motor y hacerla funcionar de forma regular para obtener la máxima potencia de salida del motor.

Si no se necesita una potencia máxima de salida del motor, suele ser mejor hacer funcionar el motor con un ligero exceso de aire a fin de evitar el

retroceso de la llama en el sistema de escape de gas del motor. (Kinderland, 2002)

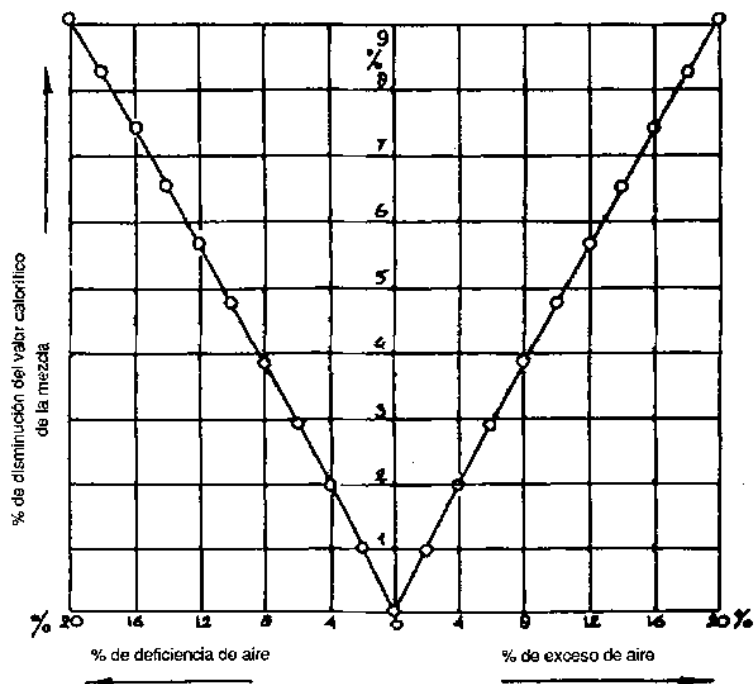


Fig. 29 Disminución del valor calorífico de una mezcla de gas pobre y aire en función de la deficiencia o exceso de aire³²

2.2. Sistema de Control Electrónico

2.2.1. Electrónica de potencia (EP)

“Electrónica de potencia es la parte de la electrónica encargada del estudio de dispositivos, circuitos, sistemas y procedimientos para el procesamiento, control y conversión de la energía eléctrica.” (Castro, 2001)

En la EP, el concepto principal es el rendimiento. El elemento de base no puede trabajar en régimen de amplificación pues las pérdidas serían elevadas, es necesario trabajar en régimen de conmutación, siendo el componente de base el semiconductor quien trabaja como interruptor.

³² Figura tomada de la web oficial de la Food and Agriculture Organization (FAO): http://www.fao.org/docrep/t0512s/t0512s03.htm#2.1.5_requisitos_de_calidad_del_gas_para_un_funcionamiento_sin_averías

La parte de potencia maneja la transferencia de energía de la entrada hasta la salida, y los circuitos de control regulan la cantidad de energía (potencia) deseada a la salida.

Por tanto, cuando se habla en EP, se habla necesariamente de:

- Potencia

Refiriéndose a equipos para operación y distribución de potencia eléctrica.

- Electrónica

Refiriéndose a dispositivos de estado sólido y circuitos para procesamiento de señal para alcanzar los objetivos de control deseados.

- Control

Refiriéndose a las características estáticas y dinámicas de sistemas de lazo cerrado.

2.2.2. Sistemas de electrónica de potencia

Los sistemas de potencia, dentro de la EP son los que están encargados de realizar la transformación (procesado) de la energía eléctrica en sus distintas formas (corriente continua, corriente alterna). (Aquilés Gay, 2013)

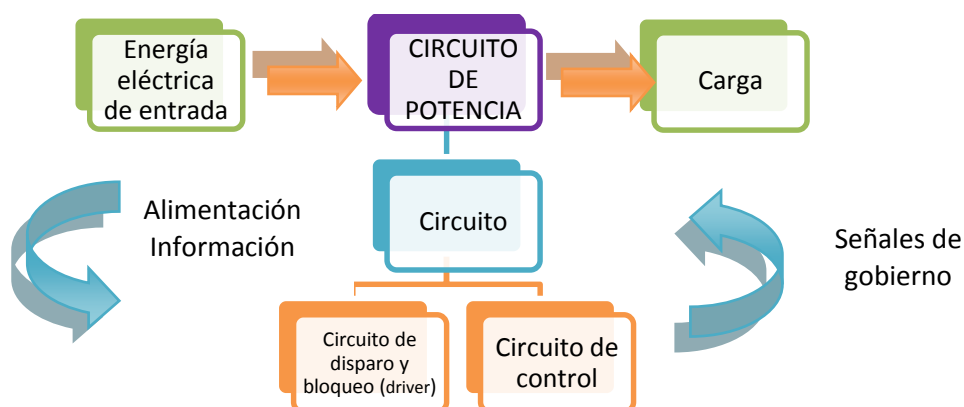


Fig. 30 Diagrama de bloques de un Sistema de Potencia

2.2.2.1. Unidad de potencia

La unidad de potencia, también conocida como el circuito de potencia o disparo, es aquel que está compuesto de semiconductores de potencia y elementos pasivos, que liga la fuente primaria de alimentación con la carga. En estos circuitos no se utilizan resistencias debido a su elevada disipación de potencia, transformándose esta en calor.

2.2.2.2. Unidad de control

La unidad de control o también llamada unidad de mando es aquella que elabora la información proporcionada por el circuito de potencia y genera unas señales de excitación que determinan la conducción de los semiconductores controlados con una fase y secuencia conveniente. (Solé, 1997)

2.2.3. Sistemas de control

Antes de definir que es un sistema de control se conocerá algunos parámetros necesarios para poder comprender.

- ♦ **Sistema:**

Es la combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo.

- ♦ **Variable de entrada:**

Es una variable del sistema tal que una modificación de su magnitud o condición puede alterar el estado del sistema.

- ♦ **Variable de salida:**

Es una variable del sistema cuya magnitud o condición se mide.

♦ **Perturbación:**

Es una señal que tiende a afectar el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se la denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y constituye una entrada.

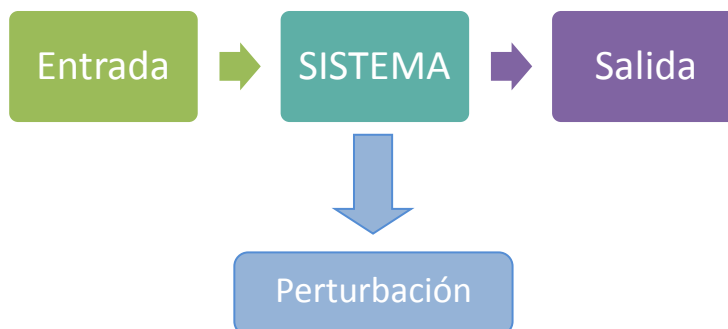


Fig. 31 Esquema básico de control

Por tanto un sistema de control es el conjunto de dispositivos que actúan juntos para lograr un objetivo de control

La identificación de sistemas es una alternativa para poder obtener la función de transferencia o modelo matemático de un proceso.

El proceso de identificación consiste en obtener un modelo que relacione la salida deseada ante una entrada conocida, mediante la aplicación de una prueba experimental.

En los sistemas de control es necesario conocer cómo reacciona dinámicamente el proceso a controlar para poder diseñar el controlador adecuado; por tanto la obtención de la función de transferencia del sistema es de vital importancia. (Solé, 1997)

2.2.3.1. Tipos de sistemas de control.

Existen dos tipos definidos de sistemas de control, los cuales son:

♦ **Sistemas de control en lazo abierto**

Son aquellos en los que la variable de salida (variable controlada) no tiene efecto sobre la acción de control (variable de control). (Philips, 1995)

Características principales

- ♦ No se compara la salida del sistema con el valor deseado de la salida del sistema (referencia).
- ♦ Para cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fijada.
- ♦ La exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador.
- ♦ En presencia de perturbaciones estos sistemas de control no cumplen su función adecuadamente.

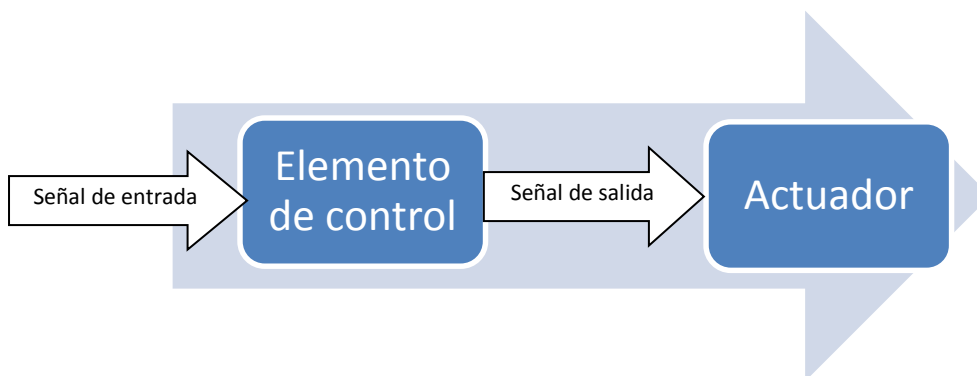


Fig. 32 Sistema lazo abierto

♦ **Sistemas de control en lazo cerrado**

Son aquellos en los que la señal de salida del sistema (variable controlada) tiene efecto directo sobre la acción de control (variable de control). (Philips, 1995)

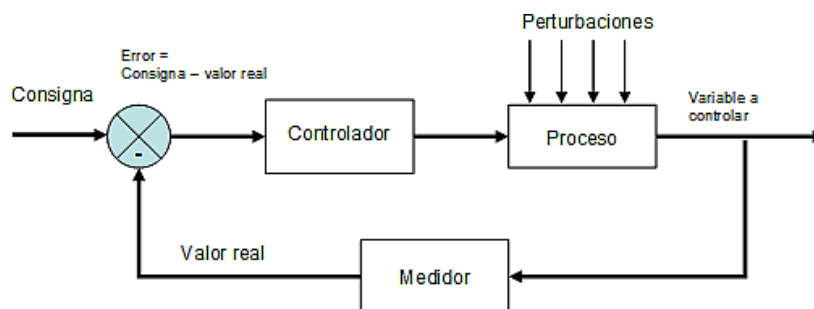


Fig. 33 Sistema lazo cerrado³³

Este sistema también trabaja con realimentación siendo así una operación que en presencia de perturbaciones tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia.

Esta reducción se logra manipulando alguna variable de entrada del sistema, siendo la magnitud de dicha variable de entrada función de la diferencia entre la variable de referencia y la salida del sistema.

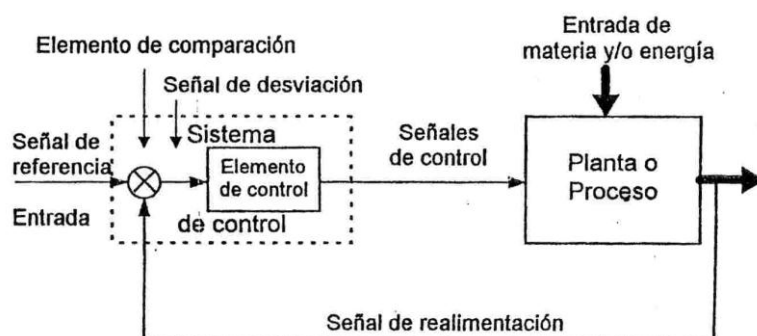


Fig. 34 Sistema lazo cerrado con retroalimentación³⁴

2.2.4. Modulación por ancho de pulsos

La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de pulse-width modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir

³³ Figura tomada del sitio web:
http://www.tecneweb.com.ar/Apuntes/tercero_9/Sistemadecontrol.htm

³⁴ Figura tomada del sitio web:
http://www.tecneweb.com.ar/Apuntes/tercero_9/Sistemadecontrol.htm

información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga. (Rashid, 1995)

Para que la función PWM tenga más sentido y sea más completa, existen accesorios que se encargan de llevar esa señal a los motores que son los que se están utilizando en esta aplicación. El objetivo común es mejorar lo máximo posible el rendimiento de estos equipos.

La modulación por ancho de pulsos es una técnica utilizada para regular la velocidad de giro de los motores eléctricos de inducción o asíncronos. Mantiene el par motor constante y no supone un desaprovechamiento de la energía eléctrica. Se utiliza tanto en corriente continua como en alterna, como su nombre lo indica, al controlar: un momento alto (encendido o alimentado) y un momento bajo (apagado o desconectado), controlado normalmente por relevadores (baja frecuencia) o MOSFET o tiristores (alta frecuencia).

La modulación por ancho de pulsos también se usa para controlar servomotores, los cuales modifican su posición de acuerdo al ancho del pulso enviado cada un cierto período que depende de cada servo motor. Esta información puede ser enviada utilizando un microprocesador o un microcontrolador (por ejemplo, un AVR Atmega164PA)

2.2.5. Sensores

“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.” (Kuo, 1996)

Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante la utilización de componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR, etc. todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de alguna variable), y la utilización de componentes activos.

El sensor convierte toda la información que llega del exterior en un impulso eléctrico, este puede ser digital o análogo, esta señal que el controlador recibe como una variación de voltaje es analizada y procesada por la unidad de control del sistema.

2.2.5.1. Tipos de sensores utilizados

Existen diferentes tipos de sensores, los cuales se lo utiliza dependiendo de la aplicación, para este proyecto se utilizarán sensores de temperatura, gas, velocidad y posición.



Fig. 35 Tipos de sensores³⁵

♦ Sensor de temperatura

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios de señales eléctricas que son procesadas por el controlador.

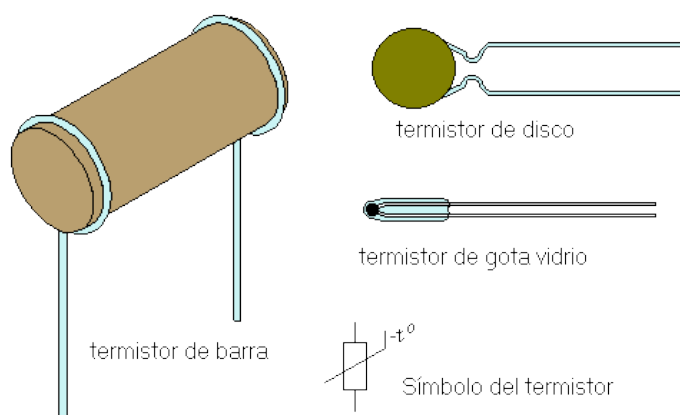
³⁵ Figura tomada del sitio web: <http://microcontrollersstuff.blogspot.com/2010/08/tarea-2-tipos-de-sensores-y-sus.html>

El sensor de temperatura, típicamente suele estar formado por el elemento sensor, la vaina que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico. (Solé, 1997)

Hay tres tipos de sensores de temperatura, los termistores, los RTD y los termopares.

♦ Termistores

El funcionamiento de un termistor se basa en la variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura, debido a la variación de la concentración de portadores,



*Fig. 36 Termistor*³⁶

♦ RTD

RTD significa Resistive Temperature Detector. Son sensores de temperatura cuyo principio físico se basa en la resistividad de los metales, es decir, en variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.

³⁶Figura tomada del sitio web: <http://www.hispavila.com/3ds/tutores/divstension.html>



Fig. 37 RTD³⁷

◆ Termopares

Termopar se denomina a la unión de dos alambres conductores con diferente composición metalúrgica. El termopar genera una fuerza electromotriz (fem) que depende de la diferencia de temperatura de la junta caliente o de medida y la unión fría o de referencia, así como de la composición del termopar.



Fig. 38 Termopar³⁸

◆ Sensor de gas

Un detector de gas es un elemento que sufre un cambio físico o químico, reversible, en presencia de un gas, para dar una señal que es transmitida, mostrada o utilizada para operar alarmas y controles. (Solé, 1997)

³⁷Figura tomada del sitio web: <http://www.resiper.com.mx/esp/prod/sen/rtds.html>

³⁸ Figura tomada del sitio web: <http://www.resistenciasacre.com/Secciones.aspx?id=15>

Cuando una mezcla de aire y gas inflamable se pone en contacto con la superficie caliente del catalizador, se produce una combustión que aumenta la temperatura de la “perla” lo cual altera la resistencia del filamento de platino que a su vez es medida en un circuito tipo “puente de Wheastone” El cambio de resistencia está directamente relacionado con la concentración de gas presente.



*Fig. 39 Sensores de gas*³⁹

◆ **Sensor de velocidad**

Los sensores de velocidad están diseñados como una alternativa a los tradicionales encoders. No necesitan contacto con los dispositivos, gracias a su sistema magnético en conjunto con una rueda dentada, permite la medición de movimientos rotatorios. Son una solución que permiten ahorrar gran cantidad de espacio. (Solé, 1997)

Como aplicación de este proyecto es poder visualizar las RPM de una forma digital, se utilizará los pulsos emitidos por la bobina propia del vehículo, de esta manera cada pulso se lo va adquirir dentro del microcontrolador, teniendo como principio un detector de cruce por cero.

³⁹ Figura tomada del sitio web: <http://sensor.diytrade.com/sdp/58594/4/pd-25282/120266-12656.html>

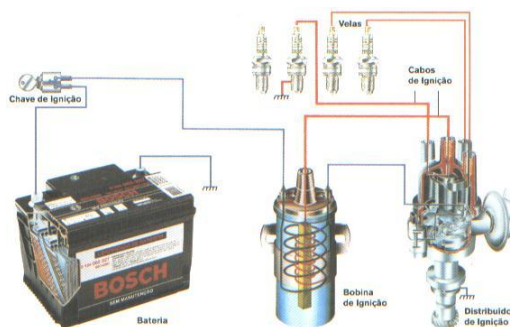


Fig. 40 Bobina de carro⁴⁰

◆ Sensor de posición

Su función es medir o detectar la posición de un determinado objeto en el espacio.

En este caso se utilizará como sensor un potenciómetro lineal el cual ayudará al control de las electroválvulas.

Un potenciómetro es un resistor cuyo valor de resistencia es variable. De esta manera, indirectamente, se puede controlar la intensidad de corriente que fluye por un circuito si se conecta en paralelo, o la diferencia de potencial al conectarlo en serie. (Solé, 1997)

Potenciómetros lineales. La resistencia es proporcional al ángulo de giro.



Fig. 41 Potenciómetro lineal⁴¹

⁴⁰ Figura tomada del sitio web: <http://sensor.diytrade.com/sdp/58594/4/pd-25282/120266-12656.html>

⁴¹ Figura tomada del sitio web URL: <http://geek-seeds.blogspot.com/>

“La resistencia variable es un dispositivo que tiene un contacto móvil que se mueve a lo largo de la superficie de una resistencia de valor total constante. Este contacto móvil se llama cursor o flecha y divide la resistencia en dos resistencias cuyos valores son menores y cuya suma tendrá siempre el valor de la resistencia total.” (Solé, 1997)

2.2.5.2. Acondicionamiento de sensores

Los sensores electrónicos han ayudado no solo a medir con mayor exactitud las magnitudes, sino a poder operar con dichas medidas. Pero no se puede hablar de los sensores sin sus acondicionadores de señal, ya normalmente los sensores ofrecen una variación de señal muy pequeña y es muy importante equilibrar las características del sensor con las del circuito que le permite medir, acondicionar, procesar y actuar con dichas medidas. (Solé, 1997)

No se puede hablar de los sensores, como componentes electrónicos básicos, sin ver cómo se pueden adaptar a un sistema de adquisición y control.

El acondicionamiento de una señal consiste en la manipulación electrónica de dicha señal, con los dispositivos adecuados, para obtener rangos de voltajes o corrientes adecuados a las características del diseño.

El acondicionamiento de señales resulta conveniente al momento de realizar una instrumentación ya que al tener una señal con rangos de voltaje más amplios, se puede obtener mayor resolución en la medición, además de presentar mayor inmunidad al ruido en el ambiente de la medición. La

caracterización de un sensor consiste en el cálculo de la ecuación característica de su comportamiento

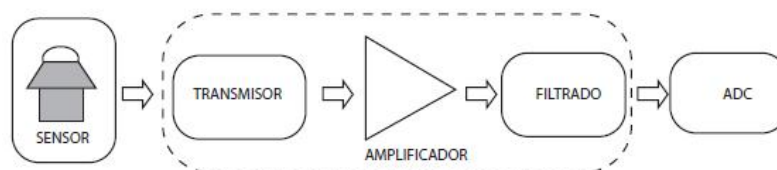


Fig. 42 Acondicionamiento de señal⁴²

2.2.6. Actuadores

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles:

- ◆ Presión neumática
- ◆ Presión hidráulica
- ◆ Fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide).

Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

En este proyecto los actuadores que se utilizarán serán eléctricos.

2.2.6.1. Control de actuadores

Los actuadores tienen como misión generar el movimiento de los elementos, según las órdenes dadas por la unidad de control. Los actuadores utilizados en la parte electrónica de este proyecto emplean energía eléctrica. (Castro, 2001)

⁴² Figura tomada del sitio web URL: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932006000100005&script=sci_arttext

Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los más usados en los procesos electrónicos industriales actuales.

2.2.6.2. Actuadores utilizados

Dentro del desarrollo del proyecto se tiene como actuadores dos tipos de elementos entre estos están

- ◆ Motor de corriente continua
- ◆ Servomotor

Motores de corriente continua.

Son los más usados en la actualidad debido a su facilidad de control. Los motores de DC están constituidos por dos devanados internos, inductor e inducido, que se alimentan con corriente continua:

El inducido, también denominado devanado de excitación, está situado en el estator y crea un campo magnético de dirección fija, denominado excitación.

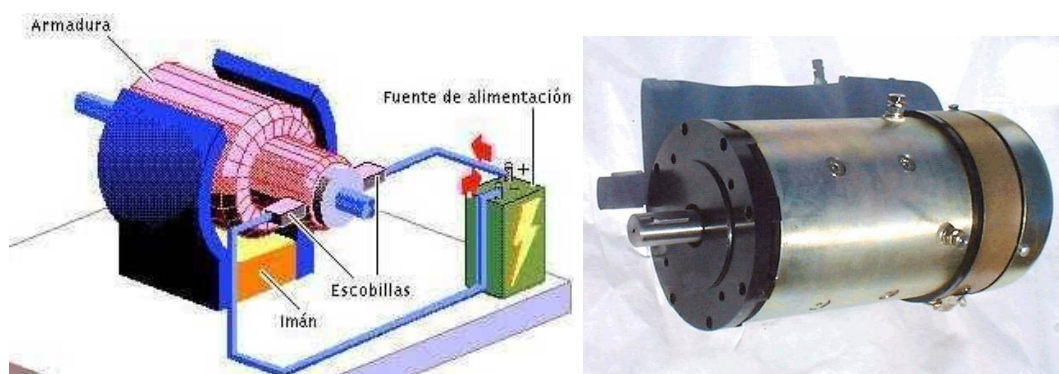


Fig. 43 Motor corriente continua de 12V⁴³

⁴³ Figura tomada del sitio web:
http://www.fisicanet.com.ar/fisica/electrotecnia/ap10_motor_de_corriente_continua.php

Servomotor

Los servos son un tipo especial de motor de c.c. que se caracterizan por su capacidad para posicionarse de forma inmediata en cualquier posición dentro de su intervalo de operación. Para ello, el servomotor espera un tren de pulsos que se corresponde con el movimiento a realizar. Están generalmente formados por un amplificador, un motor, un sistema reductor formado por ruedas dentadas y un circuito de realimentación, todo en una misma caja de pequeñas dimensiones. El resultado es un servo de posición con un margen de operación de 180° aproximadamente. (Solé, 1997)

El motor del servo tiene algunos circuitos de control y un potenciómetro conectado al eje central del motor.



Fig. 44 Servomotor⁴⁴

Los servomotores son motores de DC que en el mismo cuerpo del dispositivo cuentan con un sensor de posición el cual permite identificar las posiciones angulares del eje, mediante pulsos analógicos que se envían, este puede ser controlado por un microcontrolador

⁴⁴ Figura tomada de la página del fabricante: <http://www.servodatabase.com/servo/hitec/hs-311>

Los movimientos de los servos se basan en la inyección de señal que se le setea al servo, esta señal es una variación de ancho de pulso, la cual es generada por pines exclusivos generadores de señales PWM del microcontrolador.

Dependiendo del modelo o marca del servomotor, la tensión de alimentación puede estar comprendida entre 4 y 8 voltios.

El ángulo para la ubicación angular del servo, depende del tiempo en alto de la señal, cuyos rangos de operación van a depender de cada servo, ya sea por marca o como esté ensamblado internamente. Por lo que es necesario antes de su utilización, calibrar el rango de valores para obtener un movimiento de 0° a 180°.

Para lograr mantener al servo en una posición específica, es necesario mantener la misma relación de trabajo de la señal PWM, de esta manera mantener así el control continuamente, sin importar que el eje esté sometido a torques externos, éste mantendrá la posición indicada hasta los límites de su torque; lo que no sucede cuando se lo desconecta de la alimentación o del control, ya que cualquier torque externo podrá mover el eje.

2.2.7. Componentes electrónicos

Se denomina componente electrónico a aquel dispositivo que forma parte de un circuito electrónico. Se suele encapsular, generalmente en un material cerámico, metálico o plástico, y terminar en dos o más terminales o patillas metálicas. Se diseñan para ser conectados entre ellos, normalmente mediante soldadura, a un circuito impreso, para formar el mencionado circuito. (Maloney, 1983)



Fig. 45 Componentes electrónicos⁴⁵

Los componentes electrónicos principalmente tienen dos clasificaciones como son:

Componentes Activos

Son los que suministran energía eléctrica a un circuito (Pilas, baterías, etc) o bien modifican o amplían algún valor de la corriente eléctrica como su intensidad, su tensión, etc (transistores, diodos, etc).

Componentes Pasivos

Actúan como cargas para un circuito eléctrico, pero por si solos ni modifican ni generan corriente eléctrica alguna. Cada circuito, ya sea eléctrico o electrónico ha de contener, por lo menos, un componente pasivo que actúe como conductor y que provoque la circulación de una corriente eléctrica por dicho circuito.

⁴⁵ Figura tomada del sitio web: <http://export.navarra.net/paghtml/nacom.htm>

2.2.7.1. Componentes utilizados

✦ **Microcontrolador**

Un microcontrolador es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado, destinado a gobernar una tarea en específico por lo cual tiene unas características limitadas (pero con una gran potencialidad).



Fig. 46 Microcontroladores ⁴⁶

La principal utilidad de los pines que poseen los microcontroladores es de soportar las líneas de entrada y salida que comunican al computador interno con los periféricos exteriores.

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

Entre las características más representativas de los microcontroladores es su sencillez de manejo, existe una gran variedad de herramientas hardware que permiten grabar, depurar, borrar y comprobar el comportamiento de los micros. La gran variedad de modelos existentes en el

⁴⁶ Figura tomada del sitio web: <http://microcontroladores-e.galeon.com/>

mercado, permiten elegir el que mejor responde a los requerimientos de la aplicación.

• Glcd

Una Pantalla Gráfica de Cristal Líquida o GLCD (acrónimo del inglés Graphic Liquid Crystal Display) es una pantalla plana formada por una matriz de píxeles monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora (AMT, 2013)

Una pantalla LCD gráfica con un panel táctil son la mejor elección para realizar proyectos con interfaz sencilla e intuitiva, porque juntos constituyen una pantalla táctil (GLCD + panel táctil = pantalla táctil). De esta manera, con un reducido número de componentes electrónicos se puede crear un dispositivo atractivo y fácil de usar.

La configuración está explicada en el datasheet propio del componente. (Ver sección de anexos B)



Fig. 47 Glcd⁴⁷

Si bien hay un sin número de tipos de paneles táctiles, los más difundidos son el resistivo y el capacitivo.

⁴⁷ Figura tomada del sitio web: <http://www.disca.upv.es/aperles/web51/modulos/glcd/glcd.html>

Panel táctil resistivo

Está formado por varias capas autoadhesivas. Las más importantes son dos finas superficies de material conductor entre las cuales hay una pequeña separación.

La pantalla táctil resistiva de 4 hilos, está formada por 4 capas, la más importante son dos finas de material conductor, entre las cuales hay una pequeña separación.

Cuando algún objeto toca la superficie de la capa exterior, las dos capas entran en contacto, de esta forma se produce un cambio en la corriente eléctrica, permitiéndoles a un controlador saber la ubicación que sea presionado en la lámina.

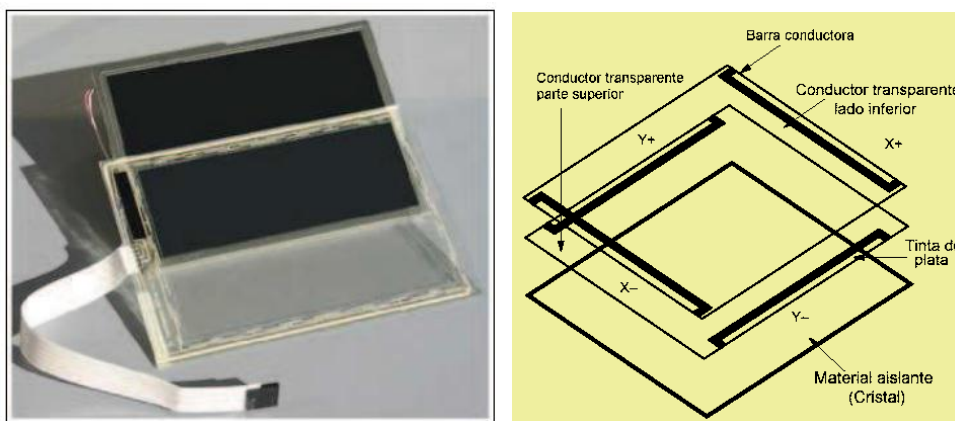


Fig. 48 Panel táctil resistivo

La lámina táctil tiene como función el ingresar datos hacia el microcontrolador. Esta lamina tiene 4 terminales a su salida, Al final de cada terminal se conecta una resistencia de 100 ohm en serie, sugerida por el fabricante, para acoplar este dispositivo al microcontrolador.

Panel táctil capacitivo

Una panel táctil capacitivo está cubierto con un material, habitualmente óxido de indio y estaño que conduce una corriente eléctrica continua a través

del sensor. El sensor por tanto muestra un campo de electrones controlado con precisión tanto en el eje vertical como en el horizontal, es decir, adquiere capacitancia.

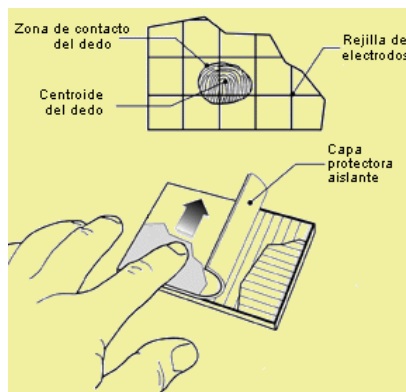


Fig. 49 Panel táctil capacitivo⁴⁸

✦ Resistencias

Una resistencia o resistor es un elemento que causa oposición al paso de la corriente, causando que en sus con unos valores resistivos preestablecidos por unas tablas que son el estándar del mercado para poder encontrar fácilmente.

El término resistencia, considerado en un sentido general, es la oposición que se presenta a una acción. En electricidad y electrónica, resistencia es la oposición al paso de la corriente eléctrica.

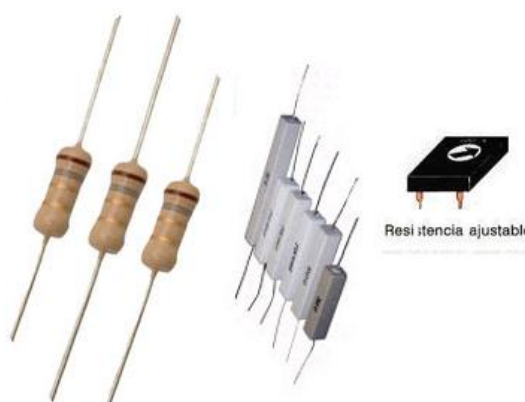


Fig. 50 Resistencias⁴⁹

⁴⁸ Figura tomada del sitio web: <http://www.amtouch.com.tw/products/>

♦ Potenciómetros

Un potenciómetro es un resistor cuyo valor de resistencia es variable. De esta manera, indirectamente, se puede controlar la intensidad de corriente que fluye por un circuito si se conecta en paralelo, o la diferencia de potencial al conectarlo en serie.

Normalmente, los potenciómetros se utilizan en circuitos de poca corriente. Para circuitos de corrientes mayores, se utilizan los reóstatos, que pueden disipar más potencia.

Los potenciómetros y los reóstatos se diferencian entre sí, entre otras cosas, por la forma en que se conectan. En el caso de los potenciómetros, éstos se conectan en paralelo al circuito y se comporta como un divisor de voltaje.

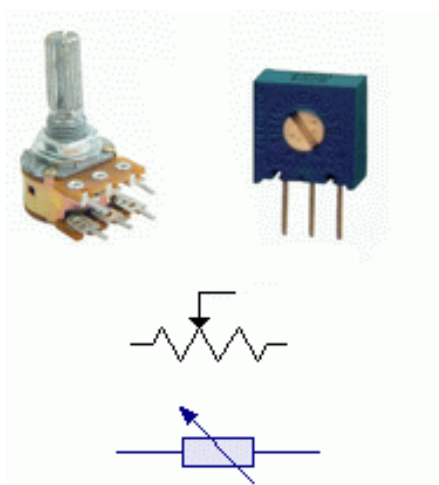


Fig. 51 Resistencia variable y símbolo⁵⁰

Los potenciómetros son ampliamente utilizados como controles del usuario, y pueden controlar una variedad muy amplia de funciones del equipo. El uso extenso de potenciómetros en electrónica de consumidor

⁴⁹ Figura tomada del sitio web:

http://www.electronicawinners.com/Electronica/index.php?page=shop.browse&category_id=78&option=com_virtuemart&Itemid=1

⁵⁰ Figura tomada del sitio web: <http://www.forosdeelectronica.com/tutoriales/resistencia.htm>

ahora ha declinado en los años 90, con los controles numéricos más comunes. Sin embargo siguen siendo en muchos usos, tal como controles de volumen y como sensores de posición.

♦ Capacitores

Un capacitor o condensador (nombre por el cual también se le conoce), se asemeja mucho a una batería, pues al igual que ésta su función principal es almacenar energía eléctrica, pero de forma diferente.

Físicamente un capacitor está formado por dos placas de material conductor separadas por un material aislante.

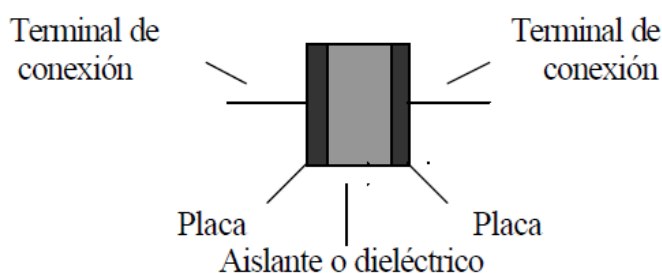


Fig. 52 Estructura de un capacitor⁵¹

Desde el punto de vista constructivo, un condensador está constituido por dos placas conductoras separadas por un material dieléctrico. En su interior se establece un campo eléctrico, sin pérdida de energía, como consecuencia de la polarización dieléctrica (no confundir material aislante y dieléctrico, todos los dieléctricos son aislantes, pero no todos los aislantes son dieléctricos; los dieléctricos son materiales no conductores en los que resulta posible su polarización). La capacidad de un condensador va a depender del tamaño de sus placas, de la distancia que las separa y del material del que está formado el dieléctrico. (Solé, 1997)

Existen tres categorías diferentes de capacitores:

⁵¹Figura tomada del sitio web: http://www.taaet.com/pdf_ivan/capacitores1.pdf

- ◆ De capacidad fija, con láminas metálicas paralelas
- ◆ Semifijos o de capacidad ajustable
- ◆ De capacidad variables (prácticamente en desuso, pues han sido sustituido por diodos varicap o varistor)

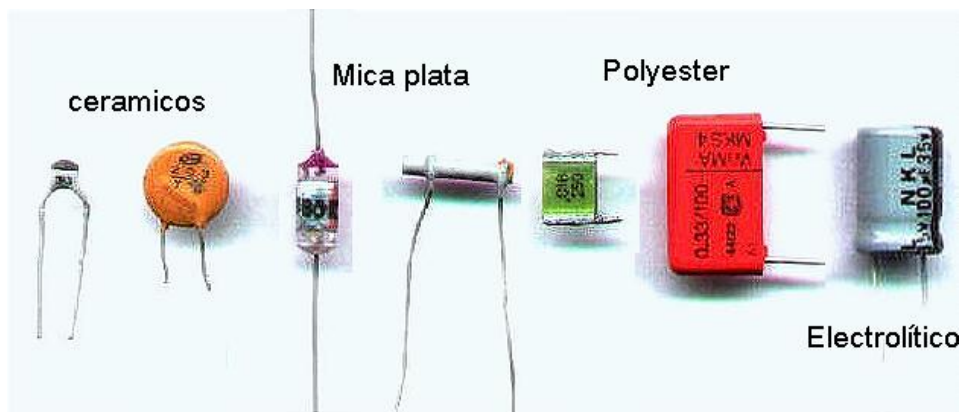


Fig. 53 Tipos de capacitores⁵²

◆ Relés

Conmutador eléctrico especializado que permite controlar un dispositivo de gran potencia mediante un dispositivo de potencia mucho menor. Un relé está formado por un electroimán y unos contactos conmutadores mecánicos que son impulsados por el electroimán.

Este requiere una corriente de sólo unos cientos de miliamperios generada por una tensión de sólo unos voltios, mientras que los contactos pueden estar sometidos a una tensión de cientos de voltios y soportar el paso de decenas de amperios.

Técnicamente un relé es un aparato electromecánico capaz de accionar uno o varios interruptores cuando es excitado por una corriente eléctrica. (Rashid, 1995)

⁵² Figura tomada del sitio web: <http://electronicaCompleta.com/lecciones/capacitores-ceramicos-electroliticos-y-smd/attachment/capacitor-12/>

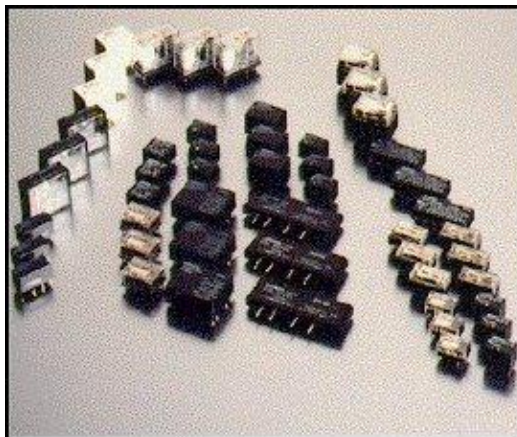


Fig. 54 Relé⁵³

◆ Diodos

Es un componente electrónico que permite el paso de la corriente en un solo sentido, ya que los electrones pueden fluir en un solo sentido, desde el cátodo hacia el ánodo.

Los diodos se polarizan cuando se conectan a circuito eléctrico. Esta polarización puede ser directa o inversa:

Polarización directa

Se produce cuando el polo positivo del generador eléctrico se une al ánodo del diodo (zona tipo P) y el polo negativo al cátodo (zona tipo N). En este caso el diodo deja pasar la corriente. (Rashid, 1995)

Polarización inversa

Se produce cuando los polos positivo y negativo del generador eléctrico se conectan al contrario. En este caso el diodo no permite el paso de la corriente.

Esta característica permite que los diodos sean utilizados como interruptores. Además cuando el diodo está conduciendo, la caída de tensión entre sus extremos es muy pequeña, alrededor de 0,7 voltios. (Rashid, 1995)

⁵³ Figura tomada del sitio web:

http://electronica.ugr.es/~amroldan/modulos/enlaces/dispo_potencia/relés.htm

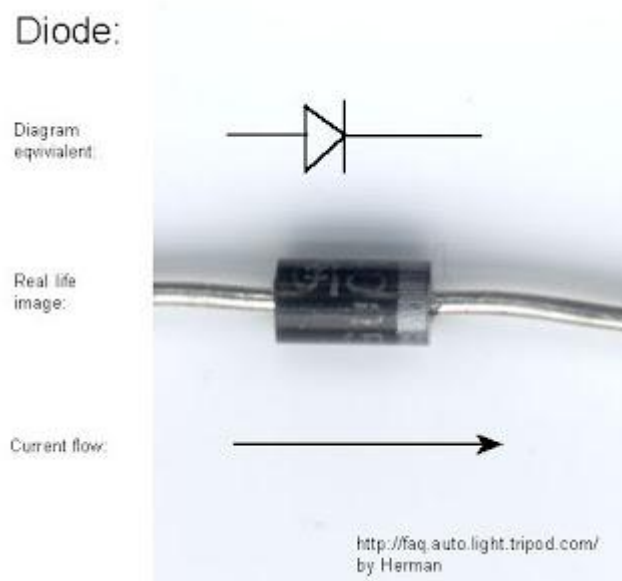


Fig. 55 Diodo ⁵⁴

◆ Diodos zéner

Es un diodo especialmente diseñado para trabajar con tensiones inversas. Es decir puede conducir en sentido contrario al habitual sin dañarse. Esto lo hace con una caída de tensión fija entre sus extremos, por lo que se usa para fijar la tensión.

Si a un diodo Zener se le aplica una corriente eléctrica del ánodo al cátodo (polarización directa) toma las características de un diodo rectificador básico, pero si se le suministra corriente eléctrica de cátodo a ánodo (polarización inversa), el diodo solo dejara pasar una tensión constante. (Maloney, 1983)

En conclusión, el diodo Zéner debe ser polarizado al revés para que adopte su característica de regulador de tensión.

⁵⁴ Figura tomada del sitio web: <http://electronicinformatica.blogspot.com/2011/10/diodos-y-transistores.html>



Fig. 56 Diodo zéner⁵⁵

♦ **Transistores**

Los transistores se componen de semiconductores. Se trata de materiales, como el silicio o el germanio, dopados (es decir, se les han incrustado pequeñas cantidades de materias extrañas), de manera que se produce un exceso o una carencia de electrones libres.

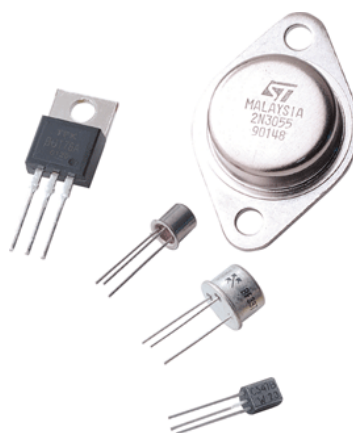


Fig. 57 Transistores⁵⁶

Si se representa la intensidad que circula por el colector frente a la tensión que se aplica al interruptor entre sus extremos se tiene una gráfica como la siguiente en la que se representan tres estados de funcionamiento

⁵⁵ Figura tomada del sitio web: <https://sites.google.com/site/cebajtpv/i-bimestre-4>

⁵⁶ Figura tomada del sitio web: <http://tecnologia-escolapioslogrono.blogspot.com/2011/02/el-transistor.html>

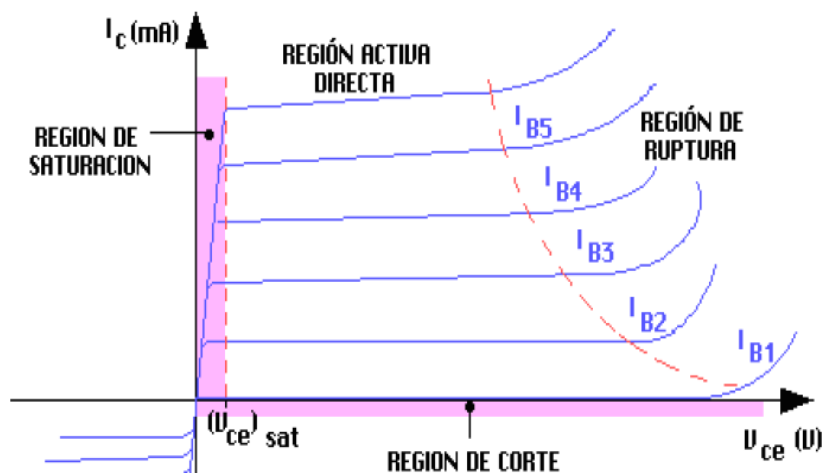


Fig. 58 Zonas de funcionamiento de un transistor⁵⁷

1. ACTIVA DIRECTA

El transistor se comportará en esta zona de funcionamiento como un amplificador de corriente, es decir a medida que aumente la intensidad de base, aumentará la intensidad que circula por el colector. Este aumento lo hará en base a la relación siguiente:

$$I_c = \beta \times I_B$$

Ecuación 1 Amplificador de corriente

Donde:

I_c = Intensidad de colector

I_B = Intensidad de base

β = Ganancia

2. SATURACIÓN

Esta zona de funcionamiento del transistor se caracteriza porque conduce cualquier corriente por el colector. En cualquier caso la corriente que conduce por el colector no depende de la corriente que se introduce por la base.

⁵⁷ Figura tomada del libro: Maloney, T. J. (1983).

3. CORTE

En esta zona el funcionamiento el transistor no conduce corriente por el colector. En este caso la intensidad de base es nula.

De acuerdo con estas zonas tenemos los siguientes modos de funcionamiento del transistor:

Amplificador de corriente

Es decir en este modo de funcionamiento el transistor permite controlar una corriente elevada (la que pasa por el colector) a partir de una corriente pequeña (la que pasa por la base). Para que el transistor funcione como amplificador debe funcionar en la ZONA DIRECTA.

Interruptor

Es decir el transistor funciona entre dos estados, un estado en el que permite el paso de la corriente y otro estado en el que lo impide. Esto se consigue haciendo funcionar el transistor alternativamente entre las ZONAS de SATURACIÓN (conduce corriente) y CORTE (no conduce corriente).

♦ **Transistores mosfet de potencia**

MOSFET son las siglas de METAL OXIDE SEMICONDUCTOR FIELD EFFECT TRANSISTOR. Consiste en un transistor de efecto de campo basado en la estructura MOS.

Un transistor MOSFET consiste en un sustrato de material semiconductor dopado en el que mediante técnicas de difusión de dopantes, se crean dos islas de tipo opuesto separadas por un área sobre la cual se hace crecer una capa de dieléctrico culminada por una capa de conductor. Los transistores MOSFET se dividen en dos tipos fundamentales dependiendo de cómo se haya realizado el dopaje:

- ◆ Tipo nMOS: Sustrato de tipo p y difusiones de tipo n
- ◆ Tipo pMOS: Sustrato de tipo n y difusiones de tipo p.
- ◆ **Disipador de calor**

Los disipadores de calor son componentes metálicos que utilizan para evitar que algunos elementos electrónicos como los transistores bipolares, algunos diodos, SCR, TRIACs, MOSFETS, etc., se calienten demasiado y se dañen.

El calor que produce un transistor no se transfiere con facilidad hacia el aire que lo rodea.



*Fig. 59 Disipador de calor*⁵⁸

- ◆ **Amplificador operacional**

El amplificador operacional es un dispositivo lineal de propósito general el cual tiene capacidad de manejo de señal desde $f=0$ Hz hasta una frecuencia definida por el fabricante; tiene además límites de señal que van desde el orden de los nV, hasta unas docenas de voltio. Los amplificadores operacionales se caracterizan por su entrada diferencial y una ganancia muy alta, generalmente mayor que 105 equivalentes a 100dB. (Solé, 1997)

⁵⁸ Figura tomada del sitio web: <http://www.ztmetal.com/en/product.asp?sid=45>

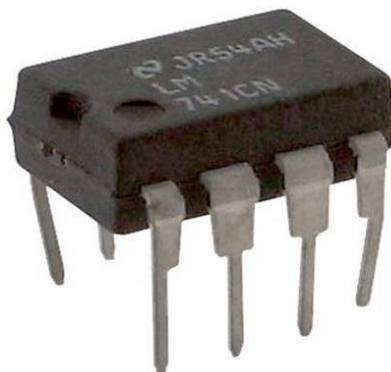


Fig. 60 Amplificador instrumental⁵⁹

◆ Optoacoplador

Un optoacoplador combina un dispositivo semiconductor formado por un fotoemisor, un fotoreceptor y entre ambos hay un camino por donde se transmite la luz. Todos estos elementos se encuentran dentro de un encapsulado que por lo general es del tipo DIP. (Maloney, 1983)

Un moc es un optoacoplador. Dentro de su encapsulado tiene un led infrarrojo y un fototransistor, la finalidad de esto es aislar el circuito de control del circuito de potencia o de carga.

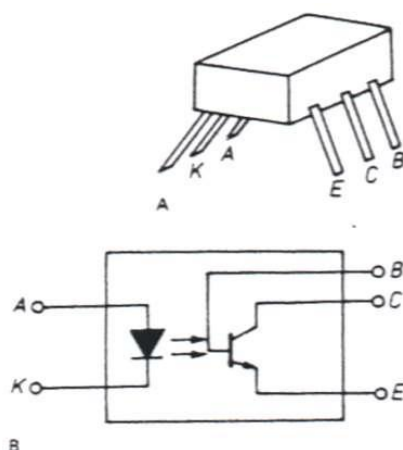


Fig. 61 Optoacoplador aspecto exterior, sistema eléctrico⁶⁰

⁵⁹ Figura tomada del sitio web:

<http://www.cosasdeingenieria.com/esp/index/item/153/97/amplificador-operacional-lm741cn>

⁶⁰ Figura tomada del sitio web:

<http://www2.uah.es/vivatacademia/anteriores/veintitres/docencia.htm>

Son conocidos como optoaisladores o dispositivos de acoplamiento óptico, basan su funcionamiento en el empleo de un haz de radiación luminosa para pasar señales de un circuito a otro sin conexión eléctrica.

Dentro de la rama de optoacopladores existen varios tipos, cuya diferencia entre sí depende de los dispositivos de salida que se inserten en el componente.

♣ **Niquelina – resistencia termoeléctrica**

En la práctica no existen conductores perfectos, es decir que no opongan ninguna resistencia al paso de la corriente eléctrica.

Si se toma varios conductores de iguales dimensiones físicas pero fabricados con distintos materiales, tales como cobre, plata, hierro, niquelina*, nichrome*, se puede ver que si a estos conductores se los conecta a los bornes de una batería en forma individual y con un amperímetro en serie con cada uno de ellos, la intensidad de corriente circulante por cada conductor será distinta.

Esta simple comprobación permite demostrar que todo material ofrece cierta resistencia al paso de la corriente eléctrica y que esta resistencia depende del material utilizado. Esta propiedad de los materiales es llamada "Resistividad Eléctrica del Material". Si ahora se acorta la longitud de los conductores dejándolos todos del mismo largo y nuevamente se los conecta a la batería con el amperímetro en serie, puede verse que la intensidad de corriente aumentará, con respecto a la que se tenía inicialmente, en todos los conductores en la misma proporción.

Esta condición indica que la resistencia de un conductor es directamente proporcional al largo del mismo, es decir para la misma sección de conductor

a mayor longitud mayor resistencia y por consecuencia a menor longitud menor resistencia.



Fig. 62 Niquelina eléctrica ⁶¹

2.2.8. Programación de la unidad de control

La función principal de la unidad de control de la UCP es dirigir la secuencia de pasos de modo que la computadora lleve a cabo un ciclo completo de ejecución de una instrucción, y hacer esto con todas las instrucciones de que conste el programa.

Los pasos para ejecutar una instrucción cualquiera son los siguientes:

1. Ir a la memoria y extraer el código de la siguiente instrucción (que estará en la siguiente celda de memoria por leer).
2. Decodificar la instrucción recién leída (determinar de qué instrucción se trata).
3. Ejecutar la instrucción.
4. Prepararse para leer la siguiente casilla de memoria (que contendrá la siguiente instrucción), y volver al paso 1 para continuar.

La unidad de control ejecutara varias veces este ciclo de cuatro “instrucciones alambradas” a una enorme velocidad.

⁶¹ Figura tomada del sitio web: http://www.resistenciaselectricas.com.ec/resistencias_tubulares.htm

CAPÍTULO 3

3. MANTENIMIENTO

El punto de partida de la presente investigación fue la preparación y optimización de los recursos entregados por el Laboratorio de Monotes de Combustión Interna del DECEM, en este caso fue un Vehículo Jeep Willys de 1975 cuyas condiciones de funcionamiento eran la menos indicadas para avanzar con el diseño, por este motivo fue primordial avanzar con el mantenimiento y la puesto a punto.

El mantenimiento de un automotor contempla varios puntos importantes que son necesarios para que la marcha y el confort del mismo sean óptimos.

3.1. Mantenimiento del motor

Se trata del corazón de un vehículo automotor, y el punto de partida de cualquier mantenimiento, en el caso del Jeep Willys de 1975 se encontró un motor en condiciones visuales aceptables, pero al tratar de encender el automóvil nos encontramos con el primer problema.

El motor no encendía, lo que indicaba una serie de factores que podían causar este inconvenientes, por las condiciones visuales del motor, era necesario comenzar realizando una revisión minuciosa de los elementos y componentes del motor y cerciorarse que cada uno de los elementos se encuentren en condiciones aceptables de trabajo: por ello se realizó una inspección de los mismo y los trabajos realizados fueron los siguientes:

3.1.1. Revisión de parámetros de funcionamiento

La Figura 63 brinda una rápida idea de las condiciones en las que se encontraba el motor y en la Figura 64 una vista del estado general al momento de recibir el vehículo por parte del laboratorio, para comenzar con la investigación.



Fig. 63 Condiciones Visuales del Motor del Vehículo



Fig. 64 Condiciones Visuales del Vehículo en General

Para saber el estado interior del motor sin que este sea desmontado y desarmado, el primer paso a realizar era obtener los datos de compresión de cada uno de los cilindros. A continuación se presenta las tablas de toma de datos de compresión en cada uno de los cilindros del motor.

Numero de Cilindro	Compresión (psi)
Primer Cilindro	88
Segundo Cilindro	92
Tercer Cilindro	90
Cuarto Cilindro	90
Quinto Cilindro	88
Sexto Cilindro	92

Tabla 10 Tabla de Compresión Motor Jeep Willys

3.1.2. Cambio de empaques y retenedores

Tras poner en marcha el motor del vehículo, es momento de enfocarnos de fugas y vertidos de aceite en sus sistemas complementarios como la caja

de cambios, la transmisión delantera y posterior y el motor en sí, de este modo no tener pérdidas de lubricantes.

- ◆ El primer paso fue con el motor, donde luego de una inspección, fue necesario reemplazar el empaque de la tapa de válvulas, el empaque de la bomba mecánica de combustible y el también recolocar la tapa del Carter, que presentaban vertidos de consideración.
- ◆ Luego de solucionar las necesidades del motor, continuamos con la caja de cambios que presentaba un goteo, por lo que fue necesario desmontar algunos de sus elementos para acceder a la raíz del problema, se trataba del empaque del Carter, que al ser reemplazado junto con los retenedores de los motrices acabaron con el inconveniente.
- ◆ Finalmente y al tratarse de un motor sencillo, quedaba realizar la inspección de la transmisión que mostraba un vertido, se trataba de los tapones, los que tuvieron que ser reemplazados. Los empaques de las coronas se encontraban en condiciones aceptables de trabajo, sin rastros de aceite.

3.1.3. Reajuste de elementos

Se pudo acceder al manual de ensamblaje del vehículo, con lo cual fue posible realizar un reajuste de pernos y tuercas en general de cada uno de los componentes de vehículo, empezando desde el motor, sus bases y componentes, siguiendo con la caja de cambios, cardanes, hasta la transmisión, corona, ejes y neumáticos.

3.1.4. Calibración de válvulas

Finalmente para culminar con el mantenimiento del motor, fue necesario reajustar y recalibrar las válvulas, lo que nos estaba impidiendo una puesta en marcha más precisa y estable del motor.

3.2. Mantenimiento del sistema de suministro de combustible

Caminando en la revisión de los sistemas, encontramos ciertas inconsistencias en el sistema de suministro de combustible, por lo que fue necesario tomar las siguientes acciones:

3.2.1. Cambio de tanque de gasolina

Al colocar combustible dentro del depósito de almacenamiento, pudimos observar que este tenía fugas, además de que los filtros de combustible nos indicaban que dentro del mismo existía presencia de óxidos y suciedad, por este motivo y gracias al auto donante con el que contaba el laboratorio, fue posible reemplazar el tanque por uno en mejores condiciones, aunque fue necesario realizar una limpieza completa de éste antes de su colocación además de verificar que no presente fugas ni en él ni en los acoples de las cañerías.

3.2.2. Limpieza de cañerías y sistemas de filtración

Las cañerías del vehículo se encontraban sucias y dado que no contábamos con un repuesto, fue necesario limpiarlas con WD-40 para retirar óxidos, además fue necesario aplicar aire a presión para comprobar que no existan obstrucciones ni fugas en su camino, tomando en cuenta que

el tanque fue reemplazado y limpiado, existía certeza de la pureza del combustible que llegará al carburador.

Como el elemento filtrante colocado anteriormente se encontraba en mal estado y lleno de impurezas, fue reemplazado también como punto final del este mantenimiento.

3.2.3. Mantenimiento de bomba de gasolina

Uno de los compromisos al momento de recibir el Vehículo por parte del laboratorio, era el de no alterar los elementos y componentes del mismo si no es necesario hacerlo, por lo cual para mantener su originalidad fue necesario realizar un mantenimiento y limpieza de la bomba de combustible, por lo cual fue necesario desmontarla y desarmarla para tener acceso a sus componentes y de este modo verificar si era necesario reemplazar alguno.

El desarmado confirmo que la bomba presentaba suciedad en sus elementos, por lo que fue simplemente necesario realizar una limpieza con WD-40 para retirar impurezas, y volverla a ensamblar y montar en el vehículo.

Durante el desarrollo de la investigación era necesario reemplazar la bomba de combustible pues era imprescindible controlar el flujo de la misma en ON/OFF y lo que mejor se ajustaba a los requerimientos era la colocación de una bomba eléctrica la cual podrá activarse y desactivarse de acuerdo a la necesidad del sistema de control.

3.2.4. Mantenimiento de carburador

En conclusión y como parte fundamental del sistema de suministro de combustible se encuentra el carburador, que por tratarse de un componente muy delicado, se tomó la decisión de enviarlo con un experto para que realice una limpieza, reajustes y re calibración del mismo.

3.3. Mantenimiento del sistema de refrigeración

3.3.1. Revisión y reemplazo de mangueras

Anteriormente el vehículo contaba con un sistema de suministro de GLP que fue retirado, pero al hacerlo fue necesario reconectar algunas mangueras que lo refrigeraban al sistema tradicional de refrigeración, por este motivo, era conveniente reemplazar algunas de las cañerías y mangueras por las cuales circula el líquido refrigerante. Algunas otras solo fueron reajustadas o simplemente fue necesario cambiar las abrazaderas para que volvieran a ser útiles, pues ópticamente no presentaban daños importantes que pudieran afectar su utilidad.

3.3.2. Mantenimiento del radiador

Como en el caso del carburador, con el radiador tuvimos que tener el mismo cuidado, dado que no se contaba con un repuesto y conseguir uno era una situación muy complicado, fue necesario acudir donde un especialista, quien realizo una limpieza interior llamada baqueteo, para limpiarlo de cualquier tipo de impureza que podría obstruirlo, de modo que nos garantizara un trabajo óptimo.

3.3.3. Cambio de bomba de agua

Al tener una importante fuga del líquido refrigerante por la bomba, se procedió a retirarla y buscar un especialista en su mantenimiento pues no había oportunidad de arriesgar que este importante componente se dañara, pero lamentablemente el tiempo había realizado importantes daños en el estado general de la bomba, y el resultado de su manipulación fue una fractura que acabo con su vida útil, esto comprometió gravemente el proceso de puesta en marcha del motor, pues el trabajo de conseguir un repuesto para la bomba de líquido refrigerante se convirtió en una tarea ardua y complicada.

Al final un componente nuevo fue colocado y puesto en marcha de manera eficiente, con lo cual el sistema de refrigeración estaba trabajando de manera eficiente apta para seguir con la investigación contando con un motor refrigerado correctamente, lo que nos garantizaba un funcionamiento óptimo del mismo y contando con parámetros reales.

3.4. Mantenimiento del sistema de encendido

3.4.1. Cambio de bujías

Siguiendo en la escala de mantenimiento, se verifico que el estado de las bujías no era el más indicado sin dejar de lado que no todas pertenecían a la misma marca y mucho menos eran de la misma naturaleza, por lo que reemplazamos todas por bujías nuevas marca Champion indicadas en la Figura:



Fig. 65 Juego de bujías de reemplazo.

3.4.2. Mantenimiento del distribuidor

Se reemplazó la tapa del distribuidor, el platino y el condensador del sistema de distribución eléctrica, además de colocar una resistencia a la bobina de modo que el encendido de las bujías sea más eficiente para que la estabilidad de la puesta en marcha sea más suave.

Lo que concluyó esta parte del mantenimiento fue la calibración del punto de encendido del vehículo.

3.5. Mantenimiento del sistema de lubricación

Luego de haber sellado y detenido las filtraciones y pérdidas de lubricante, era necesario colocar aceite nuevo junto con un nuevo elemento filtrante.

3.5.1. Cambio de aceite y filtro

Un motor de esta magnitud necesitaba un galón y medio de aceite lubricante, se seleccionó Aceite Petrocomercial SAE 20W50 por propiedades y costo, junto con un filtro nuevo de aceite.

3.6. Mantenimiento del sistema eléctrico

3.6.1. Reconexión e instalación de luces

Sin duda el trabajo más exhaustivo de la rehabilitaron y el mantenimiento del vehículo, ya que este no contaba con sistema de iluminación, por este motivo fue necesario comenzar desde cero con la instalación. Diseñando y seleccionando cada uno de los materiales y elementos necesarios para esta actividad:

- ◆ Relés para elementos de conexión directa.
- ◆ Cableado de distribución para los elementos de iluminación delanteros y posteriores.
- ◆ Faros posteriores direccionales.
- ◆ Faros posteriores de marcha diurna y luz de frenado.
- ◆ Faro de luz de retro.
- ◆ Pernos, tuercas y terminales.

Con el esquema de la figura 66 se realizó la reconexión y rehabilitación del sistema eléctrico.

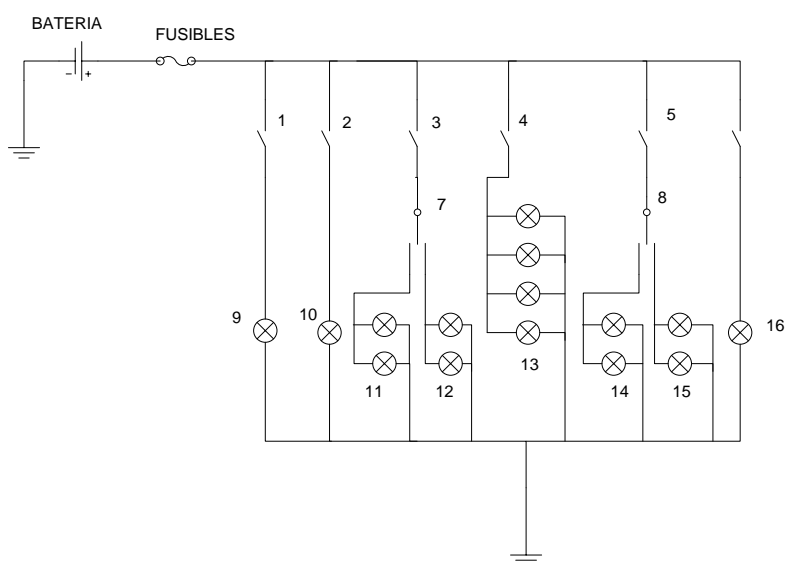


Fig. 66 Esquema de luces

Descripción del esquema 66

1. Interruptor de luz de reversa
2. Interruptor de luces de tablero
3. Interruptor de luces altas
4. Interruptor de luces medias
5. Interruptor de direccionales
6. Freno
7. Cambio de luces altas/medias
8. Cambio luces de ciudad
9. Luz reversa
10. Luz tablero
11. Luces altas delante
12. Luces altas atras
13. Luces de ciudad
14. Luces de via
15. Luces de carretera
16. Luz freno

3.6.2. Recuperación de sistemas indicadores

Fue necesario cambiar el cable del velocímetro, y reconectar el flotador del tanque de gasolina además de colocar todos los interruptores y pulsadores en el tablero para el control de la iluminación.

3.7. Tapicería y decorativos

Concluyendo con los arreglos del exterior del vehículo, este fue enderezado limpiado y rearmado componentes, para mejorar la presencia y la estética del mismo, además de colocar asientos nuevos y re tapizados y una carpa para aislar a los ocupantes de las inclemencias de la naturaleza.

En la Figura 67 observamos el resultado final del exterior del vehículo.



Fig. 67 Condiciones finales del Jeep Willys

CAPITULO 4

4. DISEÑO

4.1. Diseño mecánico

Dentro del diseño se realizó un sinnúmero de aportes dentro de la investigación que dieron lugar a la construcción del Sistema de Gasificación, además se contemplaron varios puntos de vista tanto de selección de materiales y elementos como del diseño como tal para cumplir con las especificaciones y requerimientos de generación de gas. Elementos principales del sistema como: el reactor, el separador ciclónico de partículas, el enfriador o intercambiador de calor del gas, y el sistema de transporte, circulación y almacenamiento de gas son contemplados más adelante con cada uno de sus criterios de diseño y selección correspondientemente.

4.1.1. Diseño del gasificador

Dependiendo del enfoque, puede denominarse gasificador al reactor o al sistema completo de generación de biocombustible, en la presente investigación se denominará gasificador al sistema completo y al reactor se lo denominará en determinadas circunstancias como gasógeno, cabe destacar que el principio de la investigación se giró en torno a los datos y parámetros de funcionamiento prácticos y teóricos obtenidos para el vehículo designado para este desarrollo.

4.1.1.1. Diseño del reactor

El principio del diseño del reactor parte de los parámetros de funcionamiento del vehículo Jeep Willys, equipado con un motor Ford Fuerte CJ-5 con las siguientes características:

♣ Tipo:	Cilindros en Línea
♣ Número de Cilindros:	6
♣ Diámetro del Cilindro:	79,38 mm
♣ Carrera del pistón:	88,90 mm
♣ Cilindraje:	2638 cc
♣ Relación de Compresión:	7,6:1
♣ Potencia máxima:	91 CV a 4400 r.p.m.
♣ Torque Máximo:	18,7 mkgf a 2200 r.p.m.

Para saber los datos reales bajo los cuales trabaja el motor del vehículo Jeep Willys, fue necesario acoplarlo a un banco de pruebas, de este modo sería sencillo determinar el consumo de aire y combustible. Además de los datos técnicos del automotor es necesario contar con otros parámetros del mismo para que de este modo sea factible calcular el Consumo Másico de aire, consumo de combustible y poder así también determinar la relación de aire combustible que rige el desempeño óptimo de la máquina.

Los parámetros antes mencionados y necesarios para determinar los valores necesarios se encuentran resumidos en la Tabla 11.

PARAMETROS VARIOS		
Volumen de prueba de Combustible	24	cm ³
V PRUEBA	0,000024	m ³
Diámetro de Placa Orificio	39	mm
D PLACA	0,039	m
Constante Universal de los Gases	287	Nm/Kg.°K
R _A		
Temperatura Ambiente	21	°C
T Ambiente	294	°K
Presión Atmosférica	731,1	mbar
P _a	73110	Pa
D CILINDRO	79,38	mm
	0,07938	m
L CARRERA	88,9	mm
	0,0889	m

Tabla 11 . Parámetros varios para despeje de fórmulas.

Los datos obtenidos de las pruebas realizadas se presentan en la Tabla

12.

RPM	TIEMPO (s)	h _o (mmH ₂ O)	Succión (mbar)
600	60,36	0,7	0,0686469
900	47,39	1	0,098067
1200	35,39	1,5	0,1471005
1500	28,87	3,5	0,3432345
1800	24,64	6,5	0,6374355
2100	19,08	12,5	1,2258375
2400	16,45	20,5	2,0103735
2700	14,39	27,5	2,6968425
3000	12,7	38,5	3,7755795
3300	12,05	48,5	4,7562495
3600	10,08	66	6,472422

Tabla 12 Datos experimentales

Con los valores obtenidos en la Tabla 12 se procede a reemplazar los datos en la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_a = \frac{\pi D^2}{4} * C * \sqrt{\frac{2 C_1 h_o Pa}{R_a T_a}} * 3600 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

Ecuación 2. Flujo másico de aire

Reemplazando uno de los valores de caída de presión (ho) de 0,7mmH₂O con los datos necesarios descritos en la Tabla 11 es posible obtener el flujo de masa de aire:

$$\dot{m}_a = \frac{\pi(0,039)^2}{4} * (0,62) * \sqrt{\frac{2(9,81)(0,7)(73110)}{(287)(294)}} * 3600 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

$$\dot{m}_a = 9,19 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

Con la ecuación 2 a continuación, se calculará el flujo volumétrico teórico con los datos técnicos del motor y su velocidad, el cálculo esta realizado para un valor de RPM de 600:

$$\dot{V}_d = \frac{\pi d^2}{4} * L * n * \frac{N}{60 K_2} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Ecuación 3. Eficiencia volumétrica

$$\dot{V}_d = \frac{\pi 0,07938^2}{4} * 0,0889 * 6 * \frac{600}{60 * 2} * 3600 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$\dot{V}_d = 47,52 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Contando con la ayuda del volumen de prueba junto con el tiempo transcurrido para cada toma de datos, puede determinarse el flujo másico para cada velocidad del motor y de esta manera poder determinar posteriormente la relación aire combustible con la que trabaja y se desempeña la máquina.

Mediante una transformación de unidades se obtendrá el flujo másico de combustible.

$$\dot{m}_c = \frac{V_{Prueba}}{T} * \delta_c * 3600 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

Ecuación 4 Flujo másico de combustible

$$\dot{m}_c = \frac{0,000024}{60,36} * 680 * 3600 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

$$\dot{m}_c = 0,97 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

Con este resultado se procede a determinar el valor de la relación aire combustible utilizando la siguiente expresión:

$$r_{\frac{A}{C}} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}$$

Ecuación 5 Relación aire combustible

$$r_{\frac{A}{C}} = \frac{9,19}{0,97}$$

$$r_{\frac{A}{C}} = 9,45$$

Realizando la Tabla 13 de resultados para cada uno de los valores de velocidades del motor se obtiene:

rpm	Ma MASICO	Vd Volumétrico	Mc MASICO	r _{A/C}
600	9,19783439	47,5157498	0,97335984	9,4495725
900	10,9935148	71,2736247	1,23975522	8,8674882
1200	13,4642509	95,0314996	1,66012998	8,11035945
1500	20,5669829	118,789375	2,03505369	10,1063589
1800	28,0280733	142,547249	2,38441558	11,754693
2100	38,8679443	166,305124	3,07924528	12,6225555
2400	49,7752553	190,062999	3,57155015	13,936597
2700	57,650478	213,820874	4,0828353	14,1202066
3000	68,2129655	237,578749	4,62614173	14,7451093
3300	76,5609714	261,336624	4,87568465	15,7026094
3600	89,3117365	285,094499	5,82857143	15,323092

Tabla 13 Resultados experimentación práctica del motor.

El comportamiento del consumo de combustible tiene la tendencia demostrada en la siguiente figura:

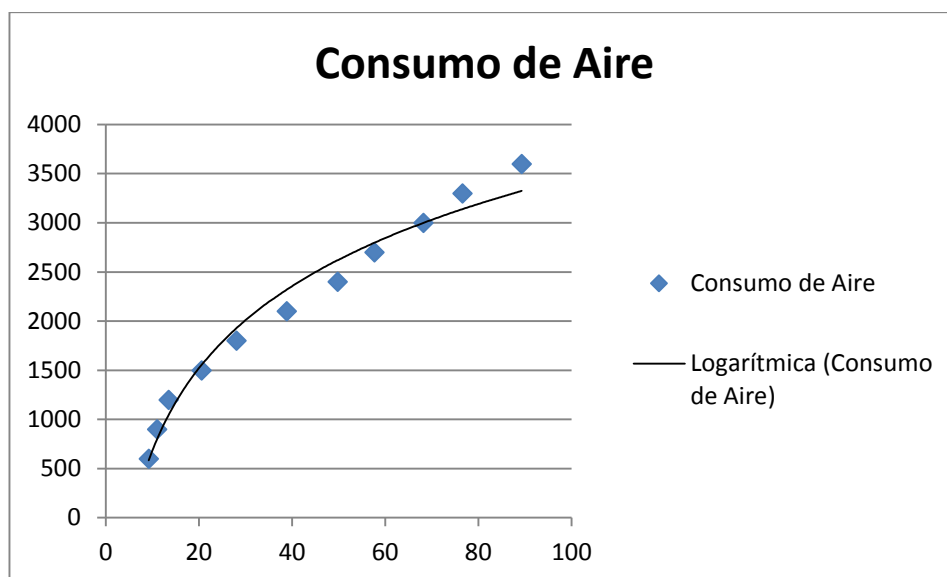


Fig. 68 Consumo de aire vs velocidad del motor

Con estos resultados se tiene una idea clara del funcionamiento del motor y su desempeño, además de contar con un valor de la succión necesaria para el diseño del sistema de transporte de Bio-Gas desde el generador por sus diversos elementos hasta llegar al cuerpo de aceleración del vehículo.

Es importante determinar la capacidad máxima de carga de biomasa para una generación continua de Gas teniendo en cuenta los parámetros y requerimientos de Motor del vehículo.

Requisitos de funcionamiento:

Analizando el caso más exigente de demanda de gas a velocidad máxima de giro del motor:

A 3600 r.p.m. y un flujo de masa de 89,31 Kg/h que será aproximada a 90kg/h y una densidad de aire en condiciones ambientales de 1,1993 Kg/m³.

Caudal mínimo requerido de generación:

$$Q = \frac{\dot{m}_c}{\delta} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Ecuación 6 Cálculo de caudal

$$Q = \frac{90}{1,1993} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q = 75.09 \cong 75 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Uno de los primeros frenos que tuvimos el momento de desarrollar la investigación fue el ajustar nuestros datos a la gráfica de la Figura 69.

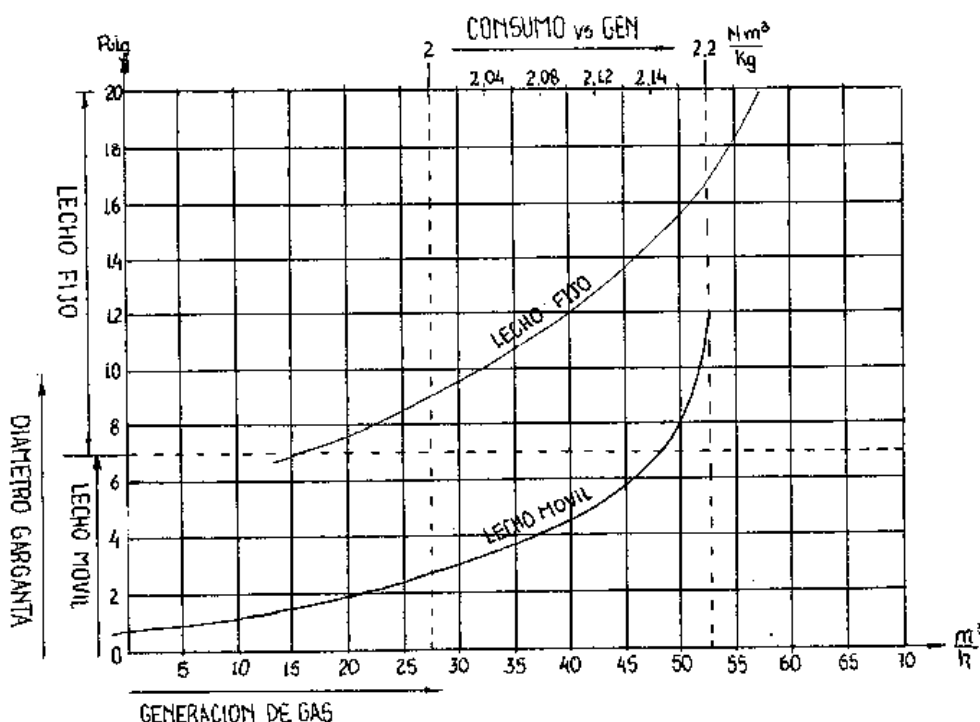


Fig. 69 Gráfica de Generación de Gas⁶²

Autores recomiendan no exceder el valor de seis pulgadas en la garganta o zona de oxidación de un gasificador móvil, puesto que al encontrarse expuesto a movimientos bruscos puede producir flameo y detonaciones dentro del gasificador.

Por ello que utilizando como guía los datos de la Figura 69, se tiene los siguientes valores:

⁶² Figura tomada de: Fonseca, N. (2002). Fundamentos de la gasificación termoquímica. Trabajo Final curso de doctorado Fundamentos de la combustión.

Para un gasógeno con una garganta de 6 pulgadas:

Cantidad teórica de Generación: 45 – 50 m³/h

Generación vs Carga de Biomasa: 2,12 – 2,2 m³/Kg

Entonces se presenta la primera complicación en el diseño, puesto que el motor demanda de 75 m³/h de combustible, y el gasificador apenas satisface el 66,67% de esa demanda.

Uno de los ajustes que se realizó tomando en cuenta este problema, es que los motores impulsados por Bio-Combustibles, y específicamente Bio-Gas, debido a su bajo poder calórico, estos nos pueden alcanzar regímenes de velocidades del motor elevados, puesto que su desarrollo es muy lento, por lo mismo esta tecnología se encuentra más proyectada para generadores estacionarios. Tomando en cuenta esta consideración, se seleccionó un valor máximo recomendado por distintos autores que será de 2400 rpm de manera empírica para partir con el diseño del reactor, con esta consideración es necesario calcular nuevamente el requerimiento de combustible del motor para estas nuevas condiciones:

A 2400 r.p.m. y un flujo de masa de 49,78 Kg/h que será aproximada a 50kg/h y una densidad de aire en condiciones ambientales de 1,1993 Kg/m³.

Caudal mínimo requerido de generación:

$$Q = \frac{\dot{m}_c}{\delta} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q = \frac{50}{1,199} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q = 44.68 \cong 45 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Como se puede observar con este ajuste, la selección de una tubería de 6 pulgadas para la construcción de la garganta del gasificador entra en el intervalo de generación.

Para continuar con el diseño, se procede a calcular el volumen de la reserva para un trabajo eficiente del gasificador en un tiempo que puede ser determinado previamente y para lo cual se utilizará la siguiente fórmula:

$$V = K * \frac{1}{P} * \frac{1}{PCS} * P_N * \frac{1}{N_m} * \frac{1}{N_g} * T [m^3]$$

Ecuación 7 Cálculo de volumen

En donde:

V: Volumen de leña, en estéreos (m3)

P: Densidad aparente de la leña (Kg/m3)

PCS: Poder calórico superior de la leña (Kcal/Kg)

PN: Potencia de funcionamiento del motor (CV)

K: Coeficiente de conversión 632 (Kcal/CV.h)

Nm: Eficiencia térmica del Motor (0,25 – 0,36)

Ng: Eficiencia térmica del gasificador (65 – 80) %

T: Tiempo de funcionamiento del gasificador (h)

Para el diseño los valores y sus justificaciones fueron las siguientes:

Tanto la densidad como el poder calórico están ligados directamente con el tipo de madera, clasificándola en suave, semi-dura y dura, de ahí los valores de la Tabla 14.

Tipos de leñas	Intervalo de Densidades	Densidad	P. C. S.
Leñas Duras	530	670	36000
Leñas Semi-Duras	420	530	28000
Leñas Suaves	300	420	19000

Tabla 14 Poder calórico y densidad de las leñas

La potencia del funcionamiento del motor esta especificada al inicio el capítulo de diseño y es:

$$\mathbf{PN = 91 (CV)}$$

La eficiencia viene de la mano con el tipo de vehículo, la tecnología y el año de fabricación, variando en un intervalo de 0,25 a 0,36 poniendo como valor más alto de aprovechamiento a los motores con inyección electrónica de combustible, por ella la selección de la eficiencia es de:

$$\mathbf{Nm = 0,3}$$

Debido a que el gasificador tiene como objeto una utilización para movilidad, el complicado y costoso colocar un aislamiento en sus paredes para aprovechar de mejor manera la temperatura generada, por ello muchos autores recomiendan colocar un valor de eficiencia intermedia en su rango de 0,65 a 0,8, por ello la selección fue:

$$\mathbf{Ng = 0,72}$$

Y finalmente el tiempo estimado de trabajo con una carga completa fue de 1 hora, para de esta manera también reducir la carga que se la dará al vehículo y permitirle trabajar más eficientemente.

$$\mathbf{T = 1 h}$$

Reemplazando los datos en la fórmula para leña dura

$$V = 632 * \frac{1}{670} * \frac{1}{36000} * 91 * \frac{1}{0,3} * \frac{1}{0,72} * 1 [m^3]$$

$$V = 0,01135[m^3]$$

Varios autores recomiendan que una buena mezcla de combustibles dentro de un gasificador consiste en 2/3 de masa de leña semi-dura y 1/3 de masa de leña suave, pues esto garantizará aceleraciones fáciles y largos

intervalos entre cargas, con esta consideración se desarrolló la siguiente tabla de resultados:

Volumen Requerido Estéreos(m ³)	Tipo de leña	Ajuste de volumen para mezcla recomendada	
0,011354339	Dura		
0,018454627	Semi-Dura	0,01230308	2/3
0,034319131	Suave	0,01143971	1/3
		0,0237428 m ³	

Tabla 15 Determinación de Volumen de diseño

Tomando en cuenta estos resultados, y dado que el objetivo del proyecto es el diseño de un sistema de generación de combustible alternativo para mejorar el problema energético y la crisis energética que se avecina, se optó por realizar la construcción del gasificador utilizando material de reciclaje de modo que los costos de construcción sean inferiores.

Por esta razón para la construcción del Gasificador seleccionamos los siguientes materiales:

Para la tolva: Un tanque de almacenamiento de Gas refrigerante R22 ideal para soportar la presión de una explosión, por las altas presiones de diseño a las que este se encuentra sometido en su aplicación y la posibilidad de retardar el fuego en caso de flameos dentro en depósito de almacenamiento:



Fig. 70 Tanque de Gas Refrigerante R22 para Tolva⁶³

⁶³ Figura tomada de la página del distribuidor
TRADESC:http://www.tradesc.com.br/gas_refrigerante.php

Para las zonas de procesamiento de la leña: se seleccionó una sección de tubería sin costura cedula 40 astm-a53 de 6 pulgadas de diámetro, cuyas propiedades se ajustan a los requisitos de temperatura a los que va a estar sometida la misma en la garganta de oxidación, en donde el gasificador alcanza temperaturas de has 900 °C, además, su composición la hace apropiada para trabajar en condiciones de corrosión y demás factores climáticos que pueden deteriorarla con el tiempo.



Fig. 71 Tubería para zonas de procesamiento y generación de biogás.

Finalmente es necesario un acumulador primer acumulador de gas, que va a ser colocado en la parte exterior de la salida de gas luego de pasar por la zona de reducción, esto con la finalidad de retirar el alquitrán del gas al hacerlo pasar por la zona de reducción y junto con ello retirar de la zona de oxidación las cenizas para mantener el carbón a una temperatura eficiente

para el proceso, es por eso que al tratarse de un elemento que no está expuesto a temperaturas tan elevadas, la decisión fue el seleccionar un tanque de termostato, diseñado para soportar la corrosión y la dureza del agua que circula dentro de este, además de temperaturas moderadas, con este elemento se completa la selección de materiales para el diseño del reactor.

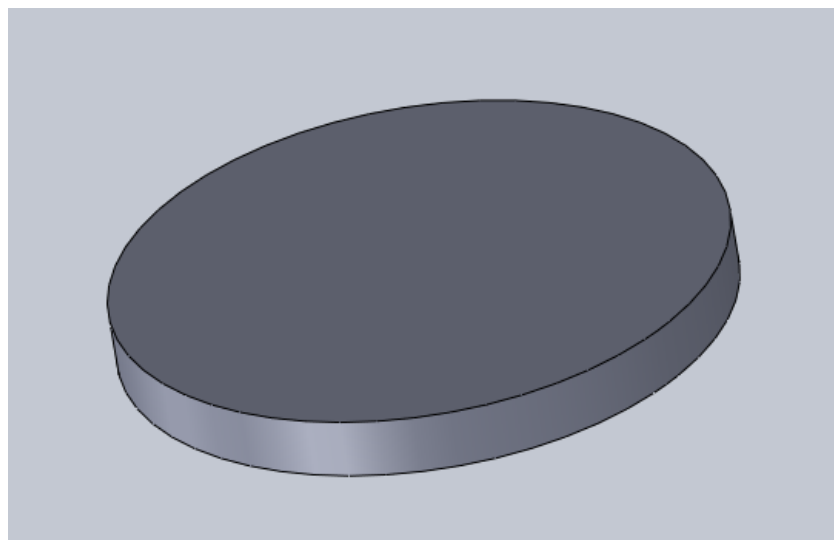


Fig. 72 Acumulador primario de Gas

Ayudados de un programa de modelado de piezas, es importante calcular el factor de acomodamiento de la madera dentro del reactor de modo que esta cumpla con los requerimientos de volumen para un trabajo en los parámetros escogidos anteriormente.

El corte de la madera es recomendable realizarlo de 2,5 cm en trozos en forma de cubo, pero al no poder ser exactos en el corte y debido a las irregularidades que estos cortes presentan es necesario calcular un factor de irregularidad para la colocación del combustible:

Tomando un volumen experimental:



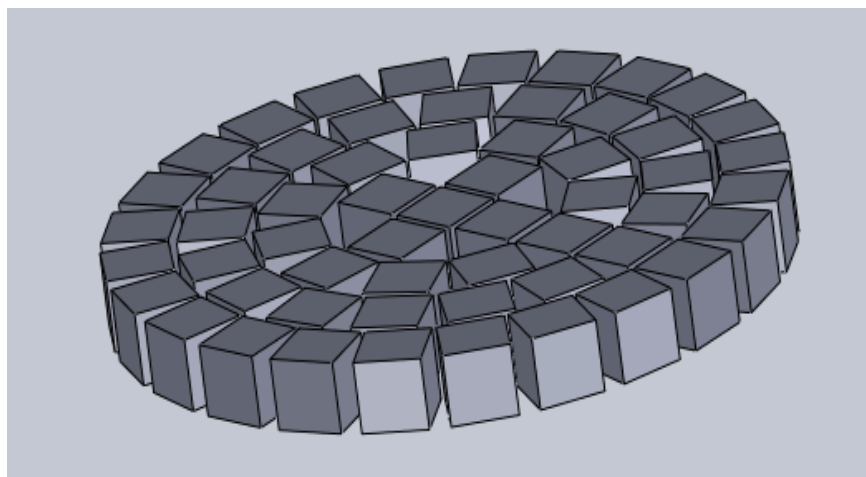
Masa = 273.62 gramos

Volumen = 273622.04 milímetros³

Área de superficie = 43664.62 milímetros²

Fig. 73 Volumen experimental.

Dentro del cual colocará el mayor número de elementos, en este caso cubos de 2,5 cm por lado hasta saturar la superficie:



Masa = 192.37 gramos

Volumen = 192375.00 milímetros³

Área de superficie = 76950.00 milímetros²

Fig. 74 Trozos acomodados.

Con los datos de volumen obtenidos en ambos caso, y con la consideración adicional de que la madera además de ingresar en cubos estará acompañada de serrín o cascarilla de arroz, estos últimos saturaran y ocuparan espacios vacíos de modo que den más aproximación al dato que se calculará a continuación:

$$\text{Factor de irregularidad} = \frac{\text{Volumen de trozos}}{\text{Volumen Experimental}}$$

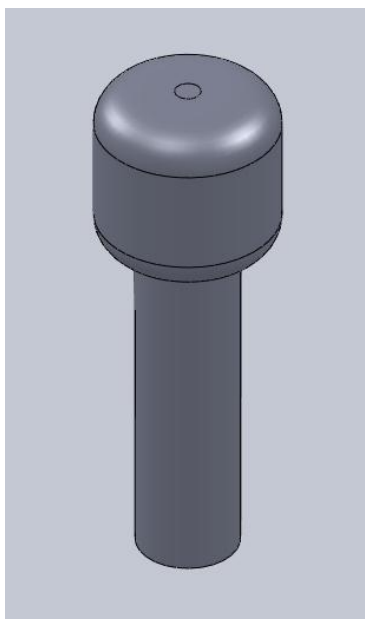
Ecuación 8 Factor de irregularidad

$$\text{Factor de irregularidad} = \frac{192375}{273622}$$

$$\text{Factor de irregularidad} = 0,70$$

Lo que indica, que el volumen total del diseño del gasificador debe ser ajustado con ayuda de este factor para determinar si el gasificador tiene la capacidad volumétrica para generar la cantidad de gas suficiente para satisfacer las necesidades del motor.

Por esta razón y ayudados por la misma herramienta de modelado podemos obtener una aproximación muy cercana del volumen total de almacenamiento del reactor como nos indica la Figura 75.



Masa = 32130.81 gramos
 Volumen = 32130809.66 milímetros³
 Área de superficie = 666517.79 milímetros²

Fig. 75 Volumen interior de almacenamiento de leña

El volumen transformado resulta 0,03213 m³, valor que debe ser ajustado con el factor de irregularidad:

$$\text{Volumen Práctico} = 0,03213 * 0,7 [m^3]$$

$$\text{Volumen Práctico} = 0,02249 [m^3]$$

Comparado con el Volumen de Diseño = 0,0237428 m³ obtenido anteriormente, se observa que no existe una variación significativa por lo que es viable empezar la construcción del gasificador, pues cumple con todos los requisitos exigidos por el motor.

Para concluir el diseño de este elemento es importante calcular una potencia del reactor:

Es necesario partir del poder calórico de la madera dentro del reactor, que al ser combustionada aportara calor al sistema para la generación de gas, y considerando la recomendación de mezcla de leñas se tiene:

Tipos de leña	P. C. S.	Partición de poder calórico para mezcla	
Dura	36000		
Semi-Dura	28000	18666,6667	2/3
Suave	19000	6333,33333	1/3
Poder calórico resultante		25000 KJ/Kg	

Tabla 16 Determinación de Potencia

4.1.1.2. Diseño del separador ciclónico

Durante el diseño del separador de partículas, es necesario recalcar que los componentes de este sistema tienen como objeto ser realizados con

materiales de reciclaje, por lo que es necesario encontrar un elemento que se adapte a nuestros requerimientos de diseño.

Además de lo mencionado anteriormente, es importante aclarar también que como el sistema cuenta con una serie de filtros para evitar que tanto alquitrán como partículas de polvo lleguen al cuerpo de aceleración no es necesario diseñar un filtro ciclónico de alta eficiencia, será un punto muy complejo además que su diseño llevaría consigo un tiempo considerable.

Por ello se seleccionó un extintor fuera de servicio con un diámetro de 15 cm, como recipiente para construir el filtro ciclónico, pues sus propiedades son óptimas para esta aplicación:



Fig. 76 . Extintor fuera de servicio

- ◆ Diseñado para soportar altas presiones en caso de explosiones dentro del sistema.
- ◆ Diseñado para soportar temperaturas elevadas
- ◆ Diseñado con materiales resistentes a la corrosión y demás factores ambientales.

Contando con el caudal máximo requerido por el sistema: de 45 m³/h dentro de una tubería de 38.1 mm de diámetro, es posible calcular la velocidad del fluido, sabiendo que es suficiente una velocidad de 10 m/s para poder separar las partículas de un fluido por acción de fuerzas centrífugas dentro de un filtro ciclónico:

$$V = \frac{Q}{A} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Ecuación 9 Cálculo de velocidad

$$A = \pi * (0,01905)^2 [m^2]$$

$$A = 0,00114 [m^2]$$

$$V = \frac{45}{0,00114 * 3600} \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$V = 10,96 \cong 11 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$V = 11 > 10 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Teniendo este dato, se sabe que es posible separar por fuerza centrífuga las partículas presentes en el gas de gasificación, lo que si es necesario calcular es la longitud S del ducto de salida del ciclón, esta magnitud ayuda a evitar que las partículas sean absorbidas por el sistema y se indica en la Figura 77:

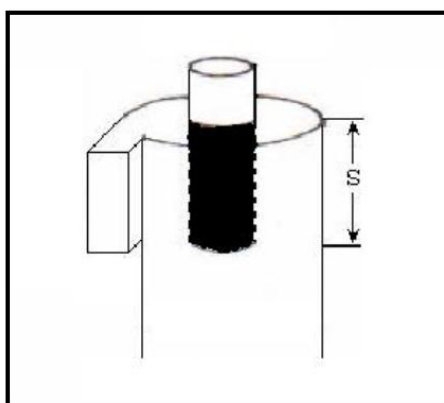


Fig. 77 Medidas para diseño de ciclón

Esta medida es el resultado de la siguiente ecuación:

$$S = Dc * 0,5$$

A continuación en la Figura 78 se presenta de donde se obtiene el valor de Dc:

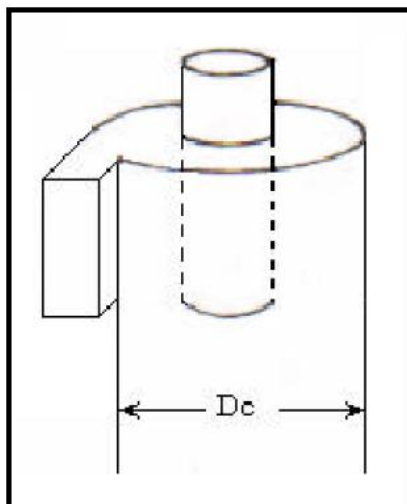


Fig. 78 Diámetro exterior del ciclón

Entonces reemplazando el valor de Dc=15cm

$$S = 15 * 0,5 [cm]$$

$$S = 7,5 [cm]$$

Con este valor, está terminado el enfoque de diseño del separador ciclónico, sin olvidar que en este es necesario colocar en la parte inferior un tapón un depósito para el almacenamiento de las partículas removidas por el ciclón, de manera que este sea sencillo de limpiar.

4.1.1.3. Selección del enfriador o intercambiador de calor del gas

Este elemento quizá puede ser considerado uno de los más importantes entre todos los componentes del sistema de gasificación, y es que no solo tiene como propósito hacer descender la temperatura del gas de gasificación

proveniente del reactor, en general las propiedades que posee este elemento dentro del sistema son varias:

- ◆ Principalmente disminuir la temperatura del gas para que el aprovechamiento sea mayor dentro del motor.
- ◆ Al disminuir la temperatura dentro del enfriador, el gas condensa los vapores y los alquitranes haciéndolos pasar de estado gaseoso a líquido, de este modo la cantidad de humedad dentro del gas que es transportado hacia el cuerpo de aceleración es menor.
- ◆ Formar un filtro líquido burbujeador donde se depuran partículas finas que no fueron separadas dentro del filtro ciclónico.

Se decidió seleccionar un radiador vehicular con el propósito de realizar las funciones de enfriador por las mismas razones anteriormente expuestas de las propiedades básicas de trabajo para las cuales fueron diseñados estos elementos, y aunque todas las opciones presentes cumplían con los requisitos principales que este elemento precisaba, habían detalles técnicos por detrás que no podíamos pasar por alto durante la selección.

Detalles técnicos:

- ◆ Por la posición del gasificador y el resto de sus elementos, es necesario que el gasificador posea la toma inferior al lado derecho y la superior al lado izquierdo.
- ◆ El enfriador debe poseer un tapón por el cual se pueda extraer el alquitrán después de un tiempo prudencial de funcionamiento del gasificador.
- ◆ No debe superar los 80 cm de longitud para poder acoplarse en el lugar destinado.

- ◆ Debe tener la capacidad de enfriar al menos 20 grados al gas para que el alquitrán pueda condensarse dentro de este.

Por esto se realizó una matriz de selección de entre tres posibles candidatos:




Tipo de Radiador	Criterios de Selección	1	2	3	4
Radiador Daewoo Tacuma 	Tomas Inferior derecha, superior izquierda		X		
	Tapón para retirar sedimentos	X			
	Longitud máxima de 80cm	X			
	Capacidad de enfriar 20 °C				X
Radiador Niva Lada 2007 	Tomas Inferior derecha, superior izquierda				X
	Tapón para retirar sedimentos				X
	Longitud máxima de 80cm			X	
	Capacidad de enfriar 20 °C				X
Radiador Motorcraft 1985 	Tomas Inferior derecha, superior izquierda		X		
	Tapón para retirar sedimentos	X			
	Longitud máxima de 80cm				X
	Capacidad de enfriar 20 °C			X	

Tabla 17 Matriz de Selección Enfriador.

La calificación dio como resultado:

Radiador Daewoo Tacuma 1998 8

Radiador Niva Lada 2007 15

Radiador Motorcraft 1985 10

Siendo el más calificado el radiador de la marca lada diseñado para un vehículo Niva Lada, además de que las prestaciones son óptimas para su aplicación, la fecha de fabricación lo hace relativamente nuevo y con un tiempo de vida mayor al de las otras dos opciones, dada la selección es necesario simplemente montarlo en el sistema y probar su rendimiento de

modo que los resultados sean los más apropiados para el funcionamiento del motor.

4.1.1.4. Selección del filtro del gas

Una vez más se indica que cada uno de los elementos seleccionados para integrar el sistema de generación de gas de gasificación son elementos diseñados para trabajar a temperaturas y presiones alta para evitar accidentes en caso de flameo o explosiones dentro del reactor.

Para el depósito del material filtrante, se seleccionó un tanque de Gas Refrigerante R22, el cual será adaptado a la salida del ciclón con la intención de tener un solo equipo de filtrado.

Entre las opciones de elementos de filtrado puede usarse, lana de vidrio, lana de madera y filtro de tela.

La manipulación de la lana de vidrio puede resultar peligrosa para la salud, y el filtro de tela estará colocado en el depurador del vehículo con el objeto de disminuir al máximo el paso de impurezas y líquido dentro del cuerpo de aceleración, es por eso que se decidió colocar como elemento filtrante del filtro secundario lana de madera, por los siguientes motivos:

- ◆ Costes relativamente más bajos.
- ◆ Al tratarse de materia orgánica su facilidad de absorción de humedad es alta, además de que su compatibilidad al absorber alquitrán por tratarse de un elemento que la compone es muy alta también.
- ◆ No es nocivo manipular ese elemento cuando es necesario removerlo y cambiarlo.

4.1.1.5. Selección de los ductos del transporte y succión

El desarrollo del diseño de esta sección parte de tomar una alternativa nueva para superar cualquier pérdida de presión durante el movimiento del gas dentro del sistema de ductos de transporte, tomando en consideración la succión realizada por el motor, y teniendo en mente que el sobrealimentar de gas al acumulador podría causar flameos y en el caso más crítico una explosión, se colocará un elemento de bombeo de gas, el cual deberá poseer una capacidad de succión mayor a la generada por el motor en un régimen alto de revoluciones:

RPM	h_o (mmH ₂ O)	Succión (mbar)
600	0,7	0,0686469
900	1	0,098067
1200	1,5	0,1471005
1500	3,5	0,3432345
1800	6,5	0,6374355
2100	12,5	1,2258375
2400	20,5	2,0103735
2700	27,5	2,6968425
3000	38,5	3,7755795
3300	48,5	4,7562495

Tabla 18 Datos de succión del motor.

Además del requerimiento de succión del sistema es necesario seleccionar un elemento apropiado para trabajar con la corriente de 12 Voltios DC, para ello la selección ideal fue acoplar un motor de ventilador automotriz a un caracol de un succionador encontrado en el mercado, el cual dio como resultado a 800 RPM una succión de 5 mbar.

Luego de contar con un elemento de propulsión de gas dentro del gasificador, es conveniente seleccionar una tubería de transporte que sea capaz de soportar cambios de temperaturas, y presiones elevadas en caso

que existieran explosiones y flameos dentro de la misma, además de refrigerar el gas antes de ingresarlo al acumulador.

La tubería que se seleccionó fue una tubería de 1,5 pulg ASTM A213-2001, ideal para soportar altas temperaturas y con una gran facilidad para ser doblado.

Por el lado de disipación de calor de la tubería se realizó la siguiente:

Calor de conducción de la tubería:

$$k=51,9 \text{ W/m}^\circ\text{K}$$

Donde la resistencia térmica del ducto viene dada por:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k}$$

Ecuación 10 Determinación de Resistencia Térmica

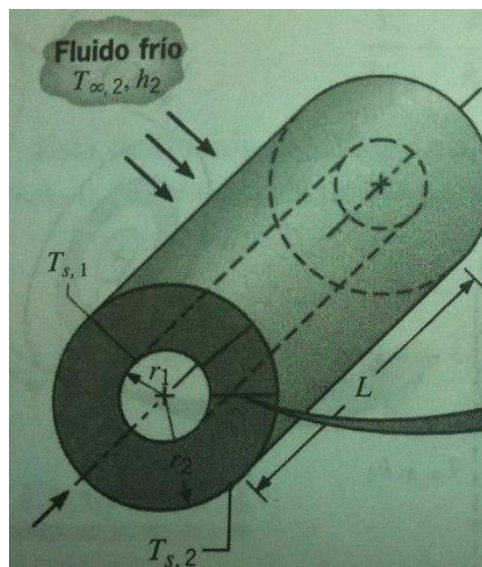


Fig. 79 Transferencia de calor

$$R = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi kL}$$

$$R = \frac{\ln\left(\frac{0,01905}{0,01755}\right)}{2\pi(51,9)(4)}$$

$$R = 0,000063$$

Ahora es necesario calcular el calor que disipa la tubería en toda su longitud.

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R}$$

$$q = \frac{32 - 29}{0,000063}$$

$$q = 47,71 \text{ KW}$$

La disipación del material es ideal para disminuir la temperatura del gas en su recorrido hasta llegar al acumulador delantero, el cual es el último paso antes de entregarse el bio-combustible al motor.

Como elemento final del sistema de gasificación, se tiene el acumulador de Gas, lugar en donde estará alojado el sensor de CO el cual dará la señal de que el gas generado tiene la calidad necesaria para poner en funcionamiento el motor. Los requisitos de este depósito son:

- ◆ El elementos debe soportar presiones elevadas en caso de flameo y explosión instantánea.
- ◆ Debe también ser resistente a temperaturas entre 10 y 90°C.
- ◆ Para concluir, el depósito debe ser resistente a la corrosión y demás factores ambientales que lo pueden afectar.

Con estas consideraciones se tomó como una alternativa viable ocupar otro tanque de Gas Refrigerante R22 pues como anteriormente ya se explicó, este cuenta con los requisitos necesarios para soportar y cumplir las expectativas de diseño.



Fig. 80 Tanque de gas refrigerante R22

4.2. Diseño Mecatrónico

Dentro del desarrollo del proyecto se elaboran varios diseños entre estos está el diseño mecatrónico que es aquel que realiza la sinergia de la parte mecánica con la parte electrónica, es por esto que se procesan diseños propios para el funcionamiento del sistema.

Como un aporte para esta investigación se incursionará en el desarrollo de un sistema híbrido de suministro de combustible, con libertad de decisión entre gas o gasolina acorde a los requerimientos del usuario, teniendo como puerta de inicio la implementación mecatrónica.

Dentro del diseño mecatrónico se encuentran los sistemas mecánicos, eléctricos y de control, para esto es necesario conocer los sistemas implementados independientemente, viendo cómo se integran entre sí para formar un solo sistema.

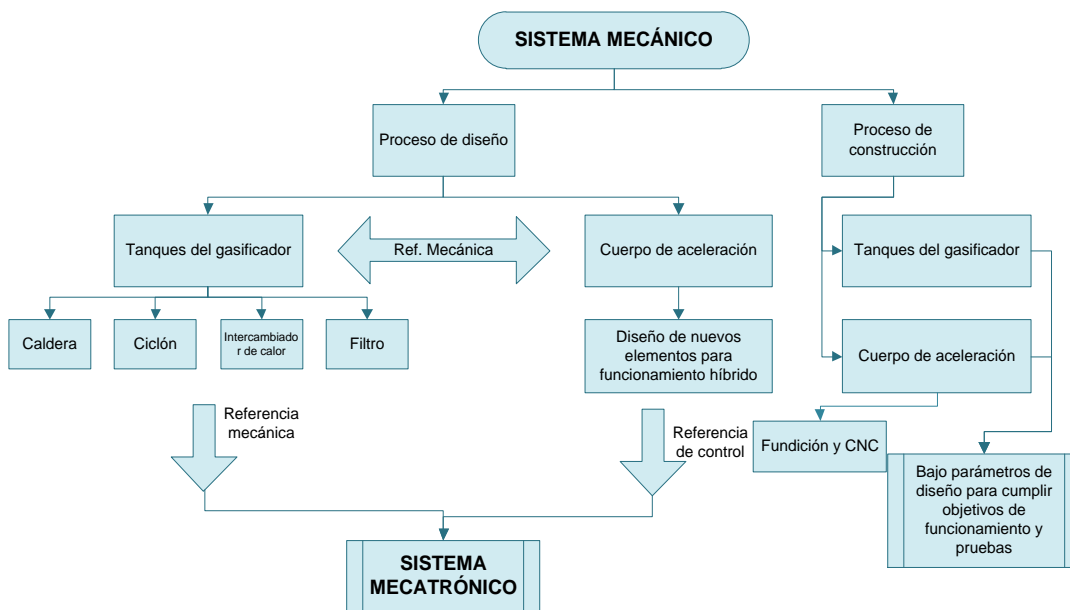


Fig. 81 Sistema mecánico

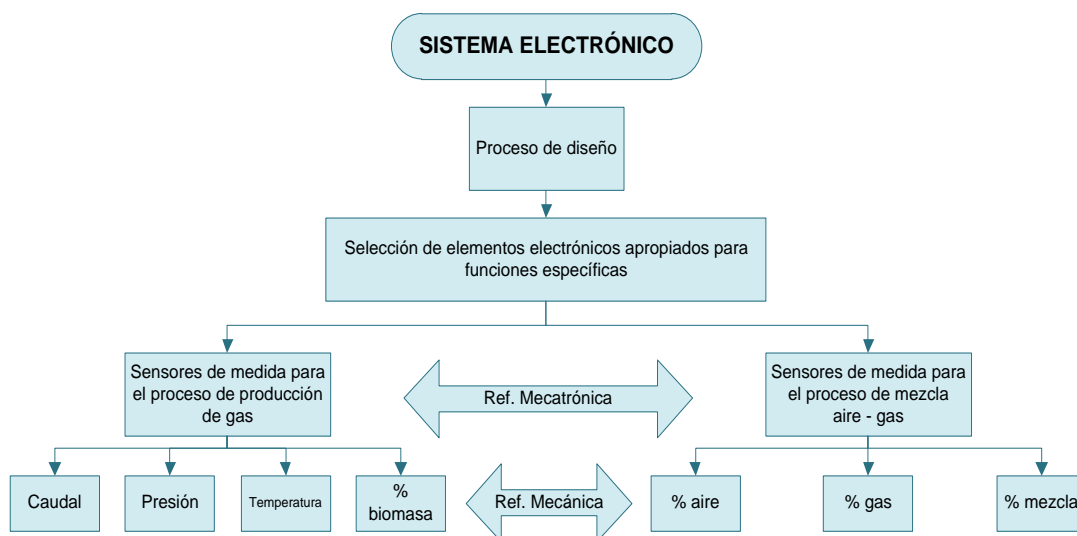


Fig. 82 Sistema electrónico

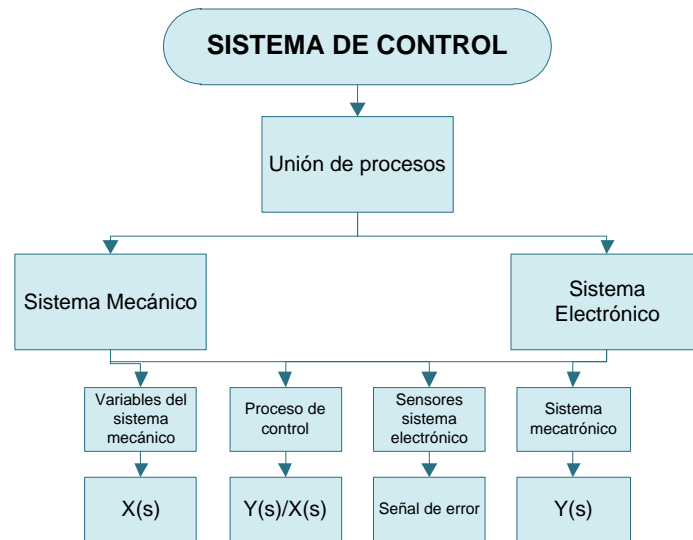


Fig. 83 Sistema de control

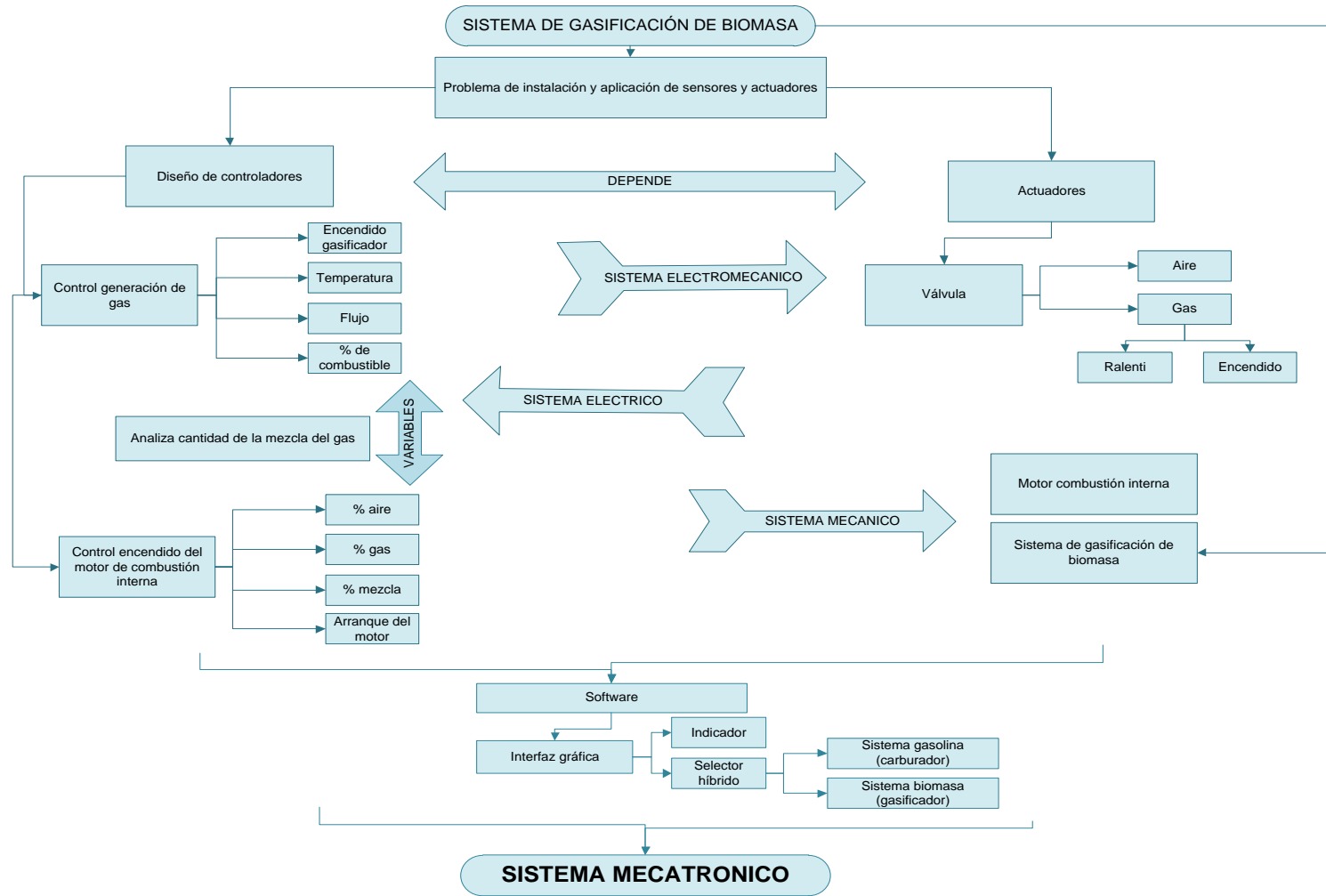


Fig. 84 Sistema Mecatrónico

4.2.1. Diseño de válvulas de selección

Para poder cumplir con el diseño del proceso, en este caso el suministro de aire tanto para el sistema de biomasa como para el sistema de gasolina, es necesario de un actuador que pueda proporcionar la cantidad precisa de aire para que el proceso se pueda efectuar correctamente.

Teniendo como referencia el funcionamiento de las electroválvulas, se diseñó un componente que realice el mismo trabajo, pero con un costo mucho más bajo. Partiendo de este antecedente, primero se diseñó el modelo CAD para posteriormente efectuar su maquinado y darle el funcionamiento con la parte electrónica.

Los parámetros bajo los cuales se diseñaron estos elementos, son básicamente las entradas que el carburador tiene, tanto hacia el motor como al exterior, dichas entradas son específicas, es por este motivo que cuando el vehículo funcione tanto a gasolina como a biomasa, necesariamente las entradas deben estar habilitadas, mismas que puedan ser modificadas dependiendo del funcionamiento y del requerimiento para la aplicación deseada. El componente electrónico se selecciona dependiendo la función que este va a realizar, para esto es necesario conocer la fuerza necesaria que ejercerá el motor, mismo que dará el movimiento dependiendo de la aceleración proporcionada por el conductor del vehículo.

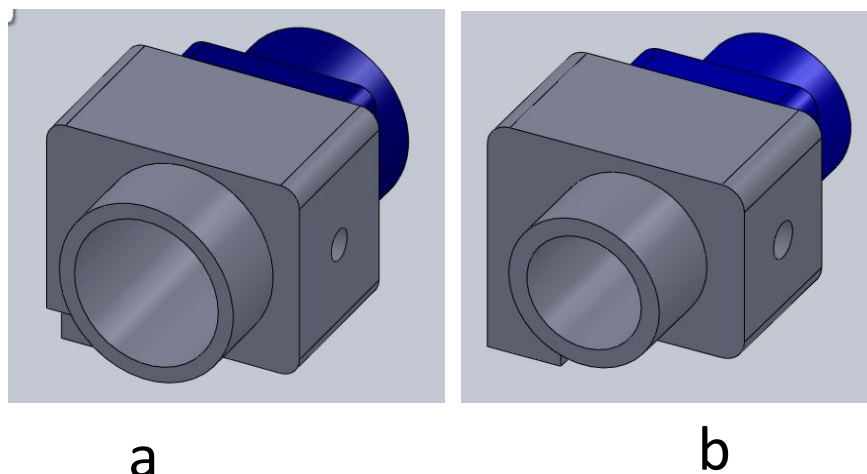


Fig. 85 Diseño CAD de válvulas electromecánicas

En la figura 85a se puede observar el diseño cad de la válvula que servirá para impedir el paso de aire al sistema cuando este se encuentre seleccionado el modo biomasa, la dimensión del orificio de entrada está relacionado directamente al paso de aire del carburador al motor, mientras que en la figura 85b se tiene el diseño de la válvula variable, es decir, que cuando el sistema se encuentra en la aplicación de biomasa esta varia constantemente su apertura dependiendo del acelerador, esto es para proporcionar una cantidad dosificada de aire hacia el motor, diferente a lo que funciona con el sistema de gasolina, que mientras más se acelera se inyecta combustible, en este caso se inyecta aire.

Conociendo que el torque depende directamente de la fuerza, se puede dimensionar el motor necesario para el funcionamiento de las válvulas, de esta manera se realizó una prueba experimental con diferentes pesos a una distancia determinada. Partiendo así de la ecuación básica de torque.

$$\tau = F \times d$$

Ecuación 11 Ecuación de torque

Donde:

τ = Torque o momento. Unidad de medida [Kg*cm]

F = Fuerza. Unidad de medida [Kgf]

d = Distancia. Unidad de medida [cm]

Teniendo como resultado la siguiente relación

$$\tau = 2,8 \text{ Kg} \times 1 \text{ cm}$$

$$\tau = 2,8 \text{ Kg} \times \text{cm}$$

Una vez obtenido el valor de torque se procedió a diseñar el mecanismo de apertura y cierre hermético de dichos componente, puesto que se necesita dentro del sistema en general evitar cualquier tipo de fuga. Estos valores se los pudieron obtener gracias a un dínamo, cuyo objetivo era conocer exactamente el valor de la fuerza de aire, es decir la succión del motor que el mecanismo tiene que vencer.

Para un trabajo eficiente en la selección del sistema hibrido gas gasolina es imprescindible instalar un nuevo depurador de aire, tomando en cuenta que no es posible alterar de ninguna manera ninguna pieza que compone el motor, por ello será necesario analizar alternativas de depuradores para seleccionar aquel que se ajuste a los requisitos de diseño.

Criterios de selección

- ◆ Es necesario contar con dos entradas de igual sección de entrada de aire o en caso que varíe, esta variación no sea significativa.
- ◆ Contar con una entrada directa al interior del depurador
- ◆ El diámetro de acople del depurador al carburador no debe tener una diferencia grande con el diámetro del carburador del Jeep Willys, para que su adaptación sea sencilla.

- La hermeticidad a lo largo del cuerpo del depurador debe ser alta y el ajuste del filtro también.

Tipo de Depurador	Criterios de Selección	0	1	2	3
Depurador Chevrolet Swift 	Entradas de igual sección		X		
	Entrada secundaria				X
	Diámetro de acople			X	
	Hermeticidad y filtro			X	
Depurador Jeep Willys 	Entradas de igual sección				X
	Entrada secundaria	X			
	Diámetro de acople				X
	Hermeticidad y filtro		X		
Depurador Chevrolet Trooper 	Entradas de igual sección			X	
	Entrada secundaria				X
	Diámetro de acople				X
	Hermeticidad y filtro				X

Tabla 19 Selección de depurador

Los resultados de la selección fueron:

Depurador Chevrolet Swift 8

Depurador Jeep Willys 7

Depurador Chevrolet Trooper 11

El depurador más factible para la aplicación fue el del Chevrolet Trooper.

4.2.1.1. Fundición de las válvulas

Una vez que se ha realizado el diseño de las válvulas, bajo los parámetros requeridos se escoge el material adecuado para tener una buena operación de la pieza, conociendo las condiciones de trabajo.

Para la selección del material se realizó una tabla de ventajas y desventajas de diferentes tipos de metales, y así poder hacer una selección óptima.

MATERIAL	VENTAJA	DESVENTAJA
Acero	Se produce menos desgaste	El maquinado es complejo y más costoso
Aluminio	Es un material de fácil maquinado y adquirirlo no es muy costoso	El material es frágil
Bronce	Es un material fácil de maquinar y mantiene propiedades ante fricción	El costo de adquisición es elevado

Tabla 20 Ventajas y desventajas del material

Una vez expuestas las opciones y revisando a detalle cada una de ellas, se escoge como material más apto al aluminio, puesto que es de fácil manejo para el trabajo y posee costos reducidos.

Al ya tener seleccionado el tipo de material que se va a utilizar, se lo lleva a la fundición de un bloque con las medidas necesarias para poder posteriormente maquinarlas.



Fig. 86 Fundición de aluminio⁶⁴

⁶⁴ Figura tomada del sitio web: <http://www.fundicioneszabala.com/Fundicion-de-Aluminio-y-Aleaciones.html>



Fig. 87 Tocho de aluminio listo para maquinar⁶⁵

4.2.1.2. Maquinado de las válvulas

Como el proyecto aparte de la generación de un sistema alternativo de combustible también trata de la sinergia entre la mecánica y la electrónica, el maquinado se lo realizó en una fresa CNC.



Fig. 88 Fresa CNC Fadal

Un nuevo enfoque para optimizar las operaciones de maquinado es el control adaptativo, mientras el material se esté maquinando, el sistema detecta las condiciones de operaciones como la fuerza, temperatura de la

⁶⁵ Figura tomada del sitio web: <http://www.imasa.com/es/portal.do?IDM=81&NM=3>

punta de la herramienta, rapidez de desgaste de la herramienta y acabado superficial, convirtiendo estos datos en control de avance y velocidad que permitan a la maquina cortar en condiciones óptimas para obtener máxima productividad.

Se espera que los controles adaptativos, combinados con los controles numéricos y las computadoras, produzcan una mayor eficiencia en las operaciones de trabajos con los metales, teniendo así un centro de mecanizado.

De esta manera una vez que se maquina el aluminio y se armó el mecanismo de apertura y cierre, se tiene como resultado final los componentes diseñados, como se muestra a continuación.



Fig. 89 Válvulas maquinadas en CNC

El objetivo de utilizar estas válvulas mecatrónicas es facilitar el ingreso de aire hacia el motor del carro, es decir para que este no se ahogue por falta de aire al momento de proporcionar la aceleración. De esta manera al hacer la selección del sistema que se desea utilizar las válvulas se ubican en la posición controlada por medio del cerebro electrónico.

Para poder distinguir el funcionamiento de cada una de ellas se las distingue como:

- ♦ Válvula 1, es la válvula grande, que solo está en estado abierto o cerrado.
- ♦ Válvula 2, es la válvula pequeña, vería su estado de cerrado a abierto dependiendo de la aceleración que se proporcione al automotor.

MODO	VÁLVULA GRANDE	VÁLVULA PEQUEÑA
Biomasa	Cerrada	Varia de estado dependiendo de la aceleración del carro
Gasolina	Abierta	Abierta

Tabla 21 Estado de las válvulas mecatrónicas.

4.2.2. Diseño del control electrónico

Como es de conocimiento, los elementos de control tienen acondicionamientos propios dependiendo la aplicación que se desee usar, es por esto que para el diseño que se quiere realizar, es necesario primero seleccionar los elementos más apropiados que puedan ejecutar de la manera más eficiente. Es por esto que a continuación se explicara cada uno de los elementos que se utilizarán para el desarrollo.

4.2.2.1. Selección de la computadora de control

La computadora que controlará todo el sistema será el cerebro de vehículo, es decir la parte inteligente que logrará que el sistema sea totalmente autónomo después de realizar la selección del sistema al que se quiere poner en funcionamiento al automotor.

Para esta aplicación se utilizará como cerebro un microcontrolador, el mismo que proporcionará toda la información necesaria para la obtención de un funcionamiento óptimo.

En el mercado existen diferentes tipos de microcontroladores, que pueden cumplir las funciones adecuadas, pero por diseño se debe seleccionar el más apto para la aplicación deseada y diseñada en la parte mecánica.

Antes de elegir el microcontrolador adecuado es primordial tener en cuenta varios factores.

- ◆ Experiencia en trabajar con diferentes tipos de micros.
- ◆ La documentación existente y disponible sobre el uso.
- ◆ Herramientas de desarrollo disponibles y su precio
- ◆ Precio del microcontrolador

Una vez se decida qué tipo o familia de microcontrolador se va a emplear hay que elegir el modelo de microcontrolador concreto para la aplicación y resulta imprescindible analizar los requisitos de la aplicación:

- Entradas, salidas y recursos internos:
- Número de entradas y salidas necesarias.
- Número y tamaño (8, 16 ó 32 bits) de los temporizadores necesarios.
- Necesidad de un CAD
- Necesidad de puertos de comunicaciones
- Necesidad de una o más salidas PWM.
- Necesidad de interfaces específicas como la de control LCD.
- Velocidad y consumo
- Memoria
- Ancho de palabra
- Disponibilidad
- Diseño del circuito y de la PCB

Por esta razón, a continuación se muestra una tabla comparativa, misma que ayudará para poder realizar una mejor elección.

MICROCONTROLADOR	CARACTERÍSTICAS
AVR	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Las Tablas en los AVR no son limitadas mientras que en los PICs se trabaja con 12 bits y tengo dividir en 8 bits. ◆ El software para AVR es libre mientras que para los PICs no. ◆ La programación de los AVR es la misma ya sea para baja, media y alta integración mientras que en los PICs es diferente para cada nivel. ◆ No divide la frecuencia y trabaja con la frecuencia del cristal. ◆ Sintaxis mucho más fácil. ◆ Dentro de la programación es necesario configurar los fusibles. ◆ Disponen registros de propósito general ◆ La mayor parte de información se encuentra en un idioma distinto al español.
PIC	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Los microcontroladores PIC tienen dentro de sus méritos el ser muy populares y por lo tanto encontrarmiles de ejercicios y ejemplos en la web ◆ Abundante información técnica y ejemplos. ◆ Tiene un solo registro en comparación con los AVR que tienen 32. ◆ La frecuencia de trabajo es menor en relación con los AVR ◆ El software es de pago. ◆ No tienen mucho ámbito en el campo automotriz

Tabla 22 Tabla comparativa entre AVR y PIC

Se determinó que una buena opción es un microcontrolador ATMEGA 164p como cerebro para recibir las señales seriales, ADC, I2C, manejo de LCD de visualización, etc., debido a la disponibilidad de herramientas para desarrollo, además de su bajo costo y la facilidad de adquisición en el mercado local.

- ◆ Trabaja a una frecuencia de 8MHz
- ◆ Cada instrucción la ejecuta a 1 microsegundo, y es imperceptible al ojo humano.
- ◆ Tiene una memoria de 16 bits.
- ◆ Pórticos A B C D E de 8 pines

- ◆ Es inmune AL ruido
- ◆ Puede quedar grabado por 20 años

El microcontrolador Atmega 164p es un microcontrolador a 8 bits con 16 Kbytes de memoria flash programable, 512 Bytes de memoria EEPROM, 1K byte de memoria RAM, 40 pines tipo PDIP, 8 canales ADC a 10 bits, seis canales de salida PWM, 32 líneas de I/O, 32 registros de propósito general.

Posee Watchdog Timer con oscilador interno de 1MHz, 2MHz, 4MHz y 8 MHz, RTC interno con cristal de 32768 Hz, dos puertos de comunicación serial USART, un puerto serial SPI.

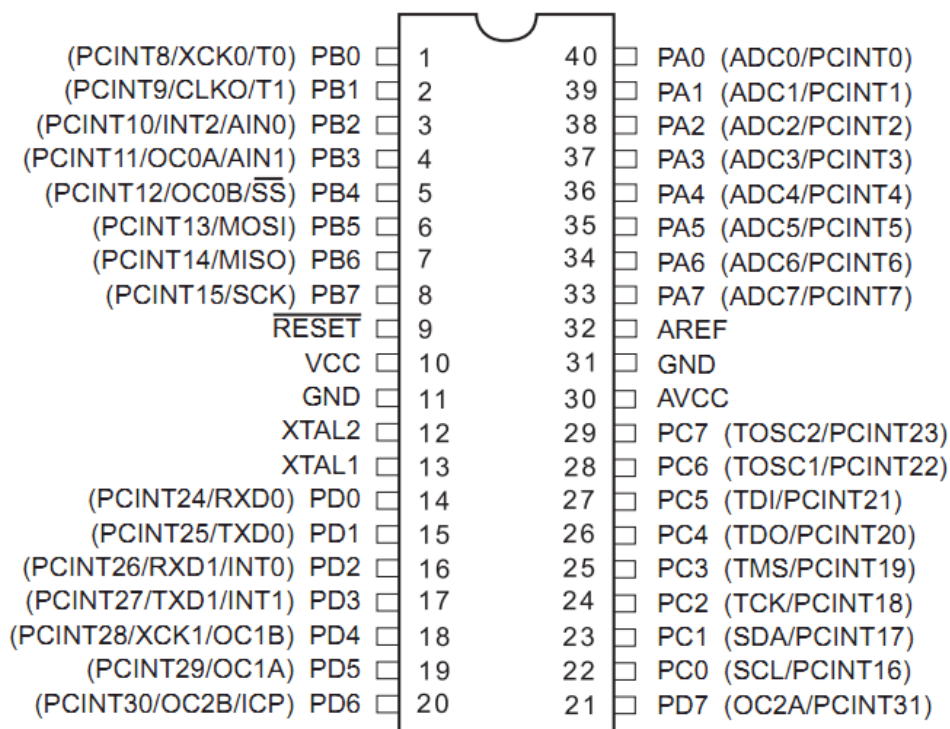


Fig. 90 Disposición de pines Atmega 164P

Como se observa el ATMEGA 164P posee 40 pines de los cuales 32 son de entrada/salida agrupados en 4 puertos, alimentación de 5 Vdc, consumo de 0.4mA.

4.2.2.2. Selección de los elementos de control

Dentro de esta aplicación los elementos que se desean controlar son las válvulas mecatrónicas, esto se lo va a realizar mediante servomotores, puesto que estos dispositivos por su operación son muy útiles en este diseño.

Gracias a su trabajo en un ángulo de 180° se puede programar para que cumplan la función especificada, sea esta la de abierto-cerrado, o de variación dependiendo la señal que reciba desde el acelerador del móvil.

Para poder realizar la mejor selección del servomotor, se parte de la ecuación 10. Se tiene como dato el torque necesario que el motor va a ejercer durante su trabajado de operación, partiendo de esto se evalúa los servos disponibles en el mercado.

MODELO	SEÑAL	TORQUE (Kgxcn)	VELOCIDAD	MATERIAL	POLOS
HDS-577	----	3.0 – 3.5	4.8V 0.12s/60° 6.0V 0.10s/60°	----	---
HS-125MG	Análoga	3.0 – 3.5	4.8V 0.17s/60° 6.0V 0.13s/60°	Metal	3
HS-303	Análoga	3.5	4.8V 0.19s/60° 6.0V 0.15s/60°	Plástico	3
HS-311	Análoga	3.0 – 3.5	4.8V 0.19s/60° 6.0V 0.15s/60°	Plástico	3
HS-5125MG	Digital	3.0 – 3.5	4.8V 0.17s/60° 6.0V 0.13s/60°	Metal	3

Tabla 23 Tabla de selección de servomotor ⁶⁶

Teniendo las opciones antes mencionadas de los servomotores disponibles en el mercado, por cuestiones de aplicación y la posición en donde van a estar ubicados es recomendable que su estructura exterior sea de plástico, es por esto que se ha seleccionado para trabajo el servomotor HITEC HS-311, ya que se encuentra cumpliendo los requisitos necesarios para la aplicación que se desea ejecutar. Los parámetros de funcionamiento se encuentran en el datasheet. (Ver sección de anexos B)

⁶⁶ Tabla tomada del sitio web: <http://www.servodatabase.com/servos/hitec?sort=make-desc&page=5>



Fig. 91 Servomotor utilizado en la aplicación.⁶⁷

Para solventar este hecho, lo que se ha hecho es crear un sistema de control basado en el ancho de un pulso para controlar la posición del motor. Este pulso que normalmente es de 1,5 ms mantiene el servo en la posición centrada. Si el pulso es más corto, por ejemplo 1 ms el servo gira a la izquierda, si el pulso es mayor, por ejemplo 2 ms, el servo gira a la derecha. El movimiento del servo es proporcional al pulso que se le aplica. Otra particularidad que tiene este pulso es su frecuencia de refresco, que en este caso es de 50 HZ, lo que equivale a mandar un pulso de control cada 20 ms.



Fig. 92 Tiempos de respuesta de un servomotor

⁶⁷ Figura tomada del sitio web: <http://www.servodatabase.com/servo/hitec/hs-311>

SERVOMOTOR VÁLVULA PEQUENA.

Esta válvula se mueve en base al movimiento o variación del potenciómetro instalado en el pedal de acelerador.

Este potenciómetro al estar en un divisor de voltaje, su terminal media es sensada con una lectura ADC (conversión Análoga Digital), del microcontrolador, la cual tiene sus límites de variación:

- ◆ Sin presionar el pedal: 520
- ◆ Presionado el pedal: 528

Por lo que se debe relacionar el valor de pedal o lectura ADC con la salida de PWM que se debe ingresar al servo de esta válvula, para lo cual se calculó la siguiente formula, que permite realizar esta conversión:

$$PWM_{servo} = -48.75 \times (\text{valor pedal}) + 2.6 \times 10^4$$

Ecuación 12 Relación lectura ADC salida PWM válvula pequeña

Por ejemplo: sin presionar el pedal se tiene 520 ADC

PWM_servo=700, lo que equivale a tener un ancho de pulso de 575 us

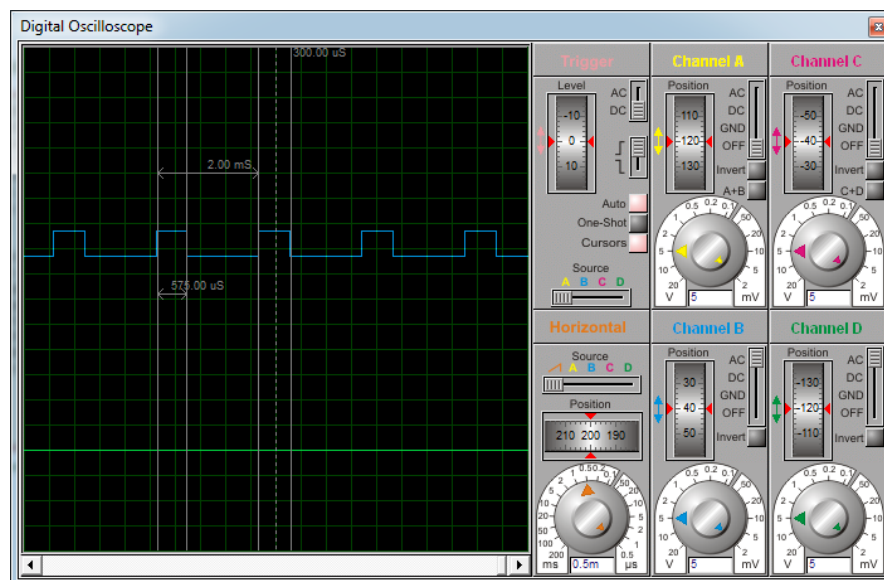


Fig. 93 Simulador de pulso 1

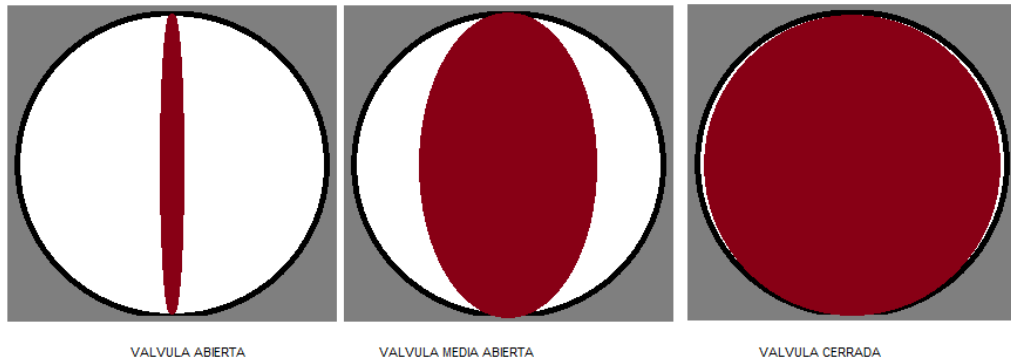


Fig. 94 Posición de la válvula

SERVOMOTOR VÁLVULA PEQUENA ABIERTA

Pedal presionado al fondo 528 ADC

$$PWM_{servo} = -48.75 \times (\text{valor pedal}) + 2.6 \times 10^4$$

Ecuación 13 Relación lectura ADC salida PWM válvula grande

PWM_servo=310, lo que equivale a tener un ancho de pulso de 1.4 ms

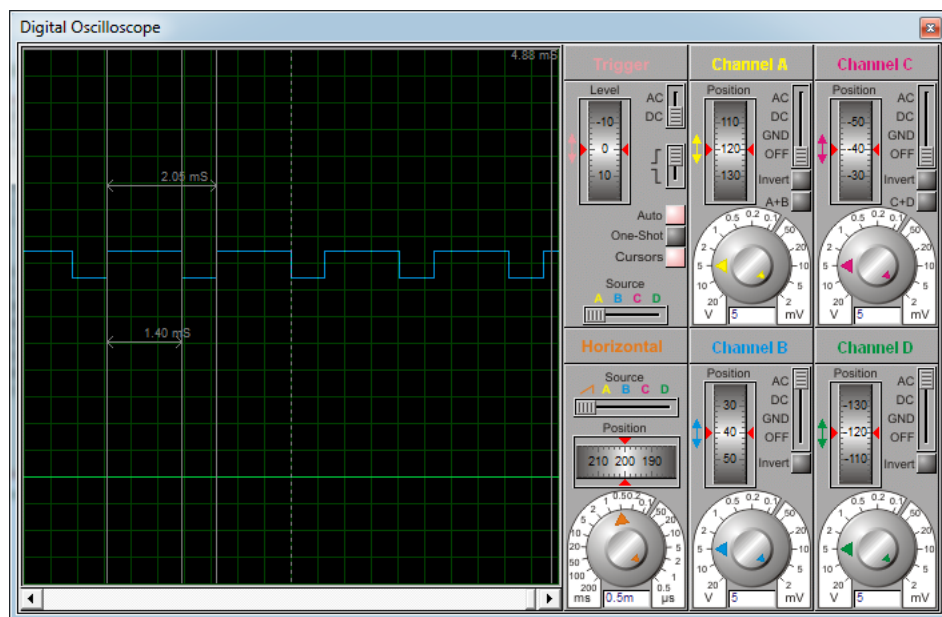


Fig. 95 Simulador de pulso 2

SERVOMOTOR VÁLVULA GRANDE CERRADA.

Al tener valores fijos en abrir o cerrar la válvula, se tiene un ancho de pulso de 2,4ms para mantener cerrada la válvula.

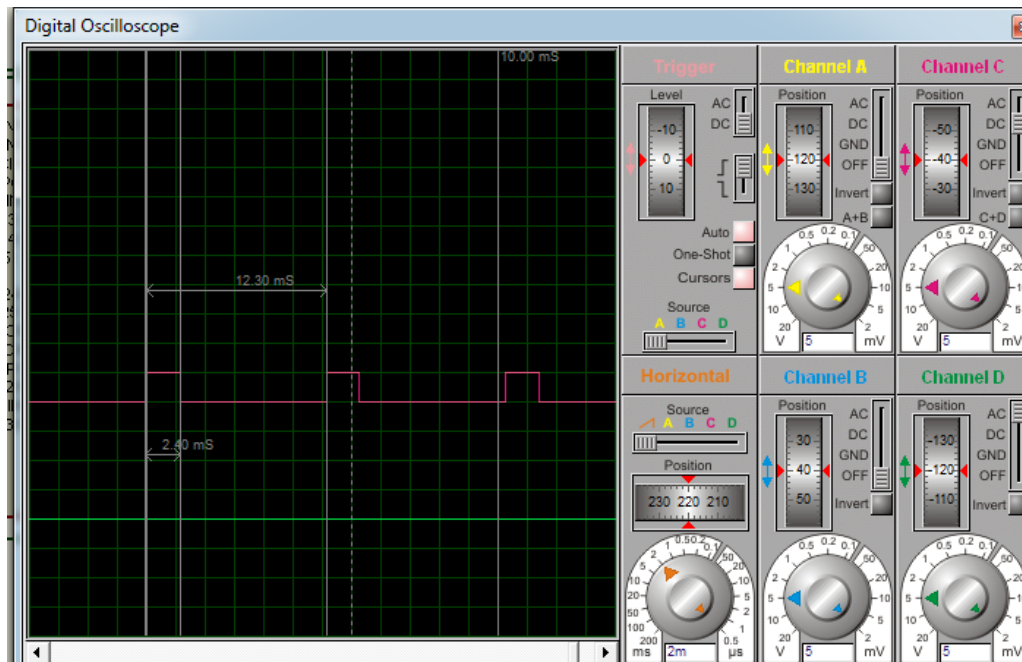


Fig. 96 Simulador de pulso 3

SERVOMOTOR VÁLVULA GRANDE ABIERTA

Un ancho de pulso de 500us para mantener la válvula abierta

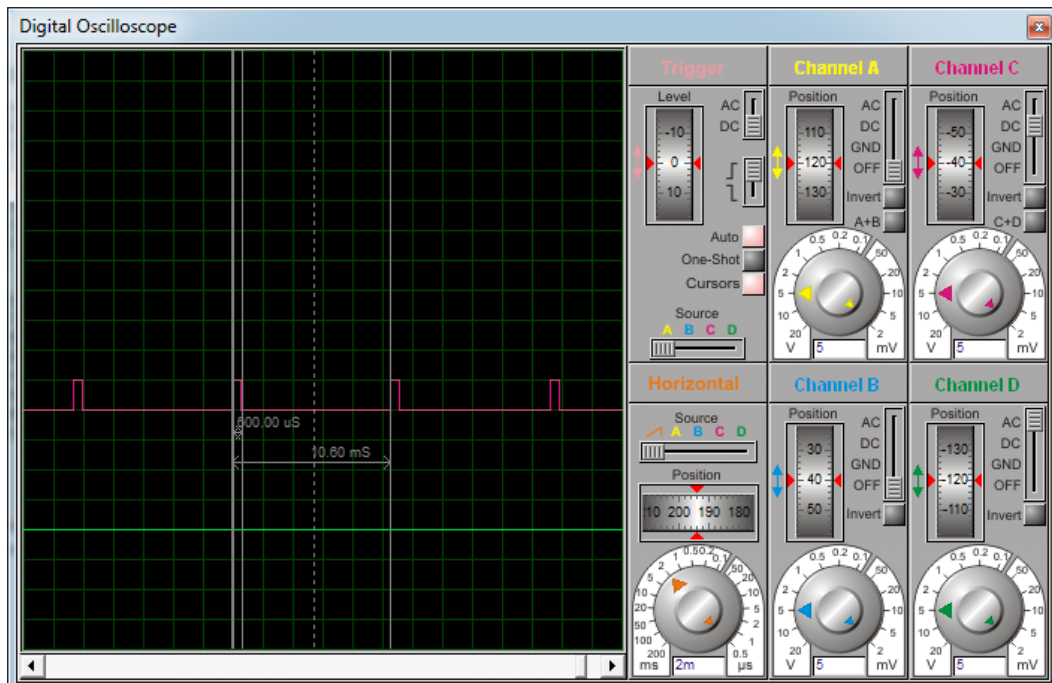


Fig. 97 Simulador de pulso 4

4.2.2.3. Selección de sensores

Dentro de la ejecución de este proyecto se utilizarán varios sensores, dependiendo de la aplicación, como se explicó anteriormente este sistema consta de varios parámetros mecánicos, mismos que generan variables, dichas variables deben ser medidas para poderlas tomar como datos de referencia o como parámetros de control.

Las variables que se necesita medir son la temperatura en el reactor y la concentración de monóxido de carbono (CO) en el acumulador del gasificador.

Las temperaturas son medidas son valores solo referenciales, es decir se indicaran el touch panel del sistema, esto es para poder conocer cuáles son los parámetros de funcionamiento del reactor, dichas temperaturas se consideran indicativas.

En cambio al hablar de la concentración del monóxido de carbono, se refiere a una variable de control, puesto que estos valores permitirán el control ON-OFF de la resistencia térmica que se utilizara, de la cual se hablará posteriormente.

Para saber que sensor de temperatura es más óptimo, a continuación se presenta una tabla comparativa entre diferentes tipos de sensores.

SENSOR	CARACTERISTICA
Termopar	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Sensores precisos relativamente económicos. ◆ Operan en un amplio rango de temperaturas. ◆ Diferentes tipos de termopares, dependiendo del rango de temperatura ◆ Soportan altas temperaturas.
Termistor	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Tienen una alta resistencia (2,000 a 10,000 Ω). ◆ La sensibilidad es alta ($\sim 200 \Omega/^{\circ}\text{C}$). ◆ Rango de temperatura limitado (hasta 300 $^{\circ}\text{C}$).
RTD	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Son lineales. ◆ Envío de señal con rapidez. ◆ Margen de temperatura [-200°C, 800°C]

Tabla 24 Tabla de selección del sensor de temperatura.

Al tener ya las características de los sensores más conocidos, se procede a realizar la selección del elemento que cumpla las condiciones necesarias y se ajuste al funcionamiento del sistema.

Por información obtenida mediante pruebas anteriores realizadas del gasificador para conocer los límites de temperatura, se tiene como dato que la temperatura máxima alcanzada del sistema no supera los 500°C, este valor se lo pudo obtener gracias a un pirómetro, el cual fue utilizado durante varias comprobaciones, para poder estar seguros del funcionamiento del equipo mecánico.

Una vez que se conoce los parámetros de funcionamiento el sensor que más se ajusta a la aplicación es un sensor RTD, ya que este primeramente está dentro del rango de operabilidad, es un sensor lineal, esto facilitara al momento de la programación en la obtención de datos, y finalmente tiene una velocidad rápida en lo referente a la transmisión de datos. (Ver sección de anexos B)



Fig. 98 Sensor RTD utilizado para la aplicación.

El PT100 es un sensor de temperatura que basa su funcionamiento en la variación de resistencia a cambios de temperatura del medio. El elemento consiste en un arrollamiento muy fino de platino entre capas de material aislante y protegido por un revestimiento cerámico.

El material que forma el conductor, posee un coeficiente de temperatura de resistencia α , el cual determina la variación de la resistencia del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

Los RTD de platino son los más utilizados en la industria debido a su gran precisión y estabilidad. Conocida como PT-100 o RTD, la resistencia de platina que presenta una resistencia óhmica de 100Ω a 0°C .

Posee una escala de trabajo que va de -200 a 650°C . Los límites de error de la PT-100 son referentes a las normas DIN-IEC-751/85.

Como primera instancia se tiene la ecuación característica del sensor, misma que se indica a continuación

$$R_t = R_o(1 + \alpha\Delta T)$$

Ecuación 14 Ecuación característica de la RTD

Donde:

R_t = Resistencia buscada

R_o = Resistencia a la temperatura de referencia $T=0^\circ\text{C}$

α = Coeficiente de temperatura del conductor especificado a 0°C , interesa que sea de gran valor y constante con la temperatura

ΔT = Desviación de temperatura respecto a $T=0^\circ\text{C}$

Se conoce por datasheet que la PT100 tiene

El material que forma el conductor, se caracteriza por el "coeficiente de temperatura de resistencia" este se expresa en un cambio de resistencia en ohmios del conductor por grado de temperatura a una temperatura específica. Para casi todos los materiales, el coeficiente de temperatura es positivo, pero para otros muchos el coeficiente es esencialmente constante en grandes posiciones de su gama útil.

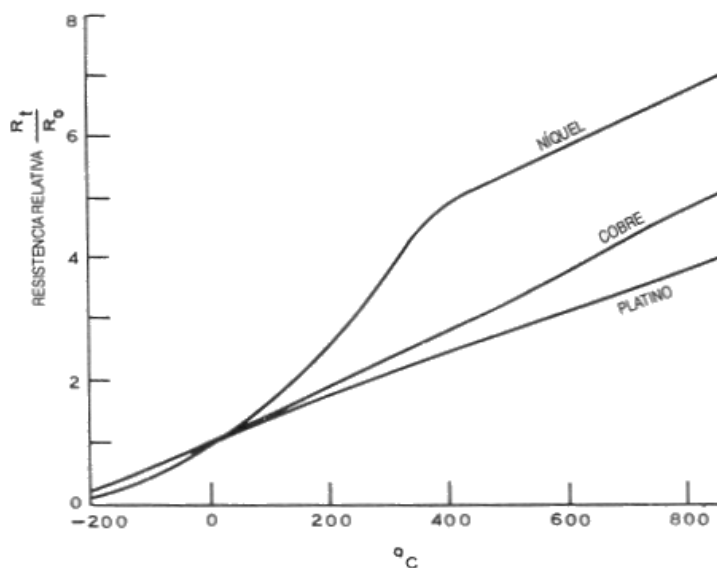


Fig. 99 Relación temperatura resistencia relativa

$$R_0 = 100\Omega \text{ a } 0^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 3,90802 \times 10^{-3}{}^{68}$$

Para realizar los cálculos correspondientes se tiene como referencia inicial la temperatura ambiente de 20°C , por lo tanto de la ecuación 14 se tiene que:

$$R_t = 100(1 + 3,90802 \times 10^{-3}(20 - 0))$$

$$R_{t1} = 107,81\Omega$$

Comercialmente el valor de la resistencia no existe por tanto se aproxima a un valor que sea accesible, pudiendo ser un potenciómetro de precisión.

$$R_{t1} = R_f = 108\Omega$$

Ahora como dentro del diseño también se tiene dos temperaturas máximas a las cuales el sistema va a llegar, se realiza un nuevo dimensionamiento para las resistencias, el valor aproximado de las temperaturas máximas son 350°C y 450°C . De la misma manera partiendo de la ecuación 13 se tiene que:

⁶⁸ Valor correspondiente al coeficiente de temperatura de la RTD, tomado de la página de National Instrument con sitio web <http://www.ni.com/white-paper/3643/es/>

$$R_{t2} = 236,78\Omega$$

$$R_{t3} = 275,86\Omega$$

Con el valor de las resistencias ya encontradas, se puede encontrar el voltaje de consumo, de esta manera encontrar los valores de las otras resistencias que forman parte del puente de Wheatstone.

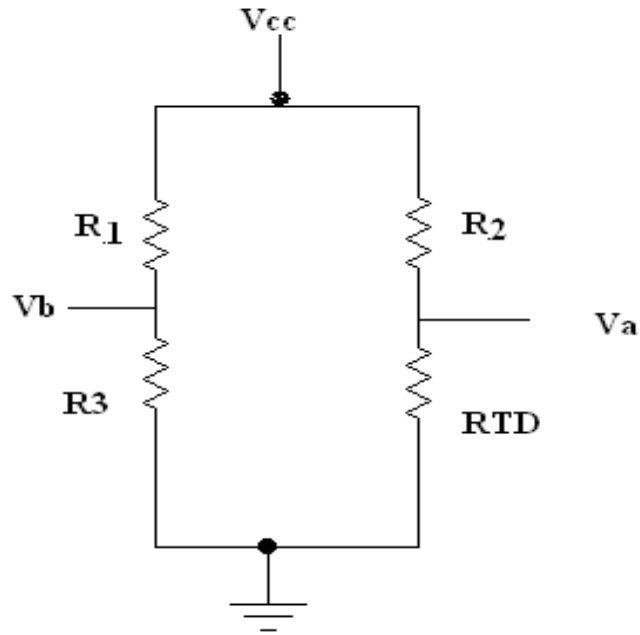


Fig. 100 Esquema puente de Wheatstone

$$R_3 = R_{t1}$$

$$R_4 = R_{RTD}$$

$$R_1 = R_2 = 12k\Omega$$

$$V_{CB} = V_{RTD}$$

$$V_{RTD} = I_{max} \times R_{t1}$$

$$I_{max} = 1mA$$

Calculando

$$V_{RTD-min} = I_{max} \times R_{t1}$$

Ecuación 15 Ecuación de voltaje mínimo de la RTD

De la ecuación 15 se conocen los siguientes valores:

$$V_{RTD} = 0.108 V$$

$$V_{RTD} = 12 \times \frac{R_f}{R_f + R_2}$$

$$0.108 V = 12 \times \frac{108}{108 + R_2}$$

$$R_1 = R_2 = 11,892\Omega \approx 12K\Omega$$

Ya una vez obtenidos estos datos de diseño, se continua con el cálculo de las ganancias respectivas para los amplificadores operacionales, partiendo de la siguiente configuración, puesto que se trabajará con voltajes pequeños.

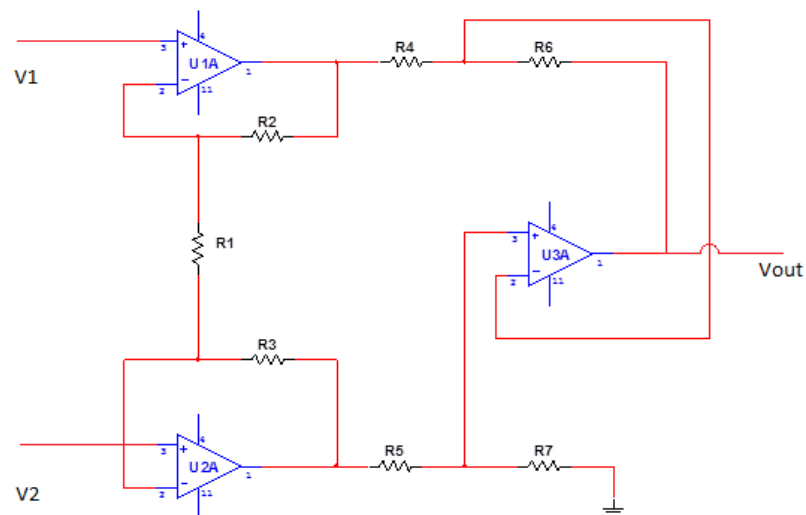


Fig. 101 Configuración del amplificador operacional.

Proceso de determinación de ganancia para los amplificadores.

$$V_{ab(20^{\circ}C)} = 0V$$

$$R_3 = R_{RTD(20^{\circ}C)}$$

$$R_3 = 108\Omega$$

$$R = 10K\Omega$$

$$V_{ab(80^{\circ}C)} = Va - Vb$$

$$V_{ab(80^{\circ}C)} = \left[\frac{12 * R_{f(350^{\circ}C)}}{R_{f(350^{\circ}C)} + 12K\Omega} \right] - \left[\frac{12 * 108}{108 + 12K\Omega} \right]$$

$$V_{ab(80^{\circ}C)} = 0.125V$$

De esta manera con los datos y cálculos obtenidos, se obtiene la ganancia.

$$A_v = \frac{5V}{0.125V}$$

$$A_v = 39.94$$

$$A_v = 1 + \frac{2}{a}$$

$$a = 0.051$$

$$R_g = a \times R$$

$$R_g = 513\Omega$$

Con todos los valores ya establecidos y conocidos, se procede a realizar la simulación pertinente a la configuración del sensor RTD, con su respectivo acondicionamiento.

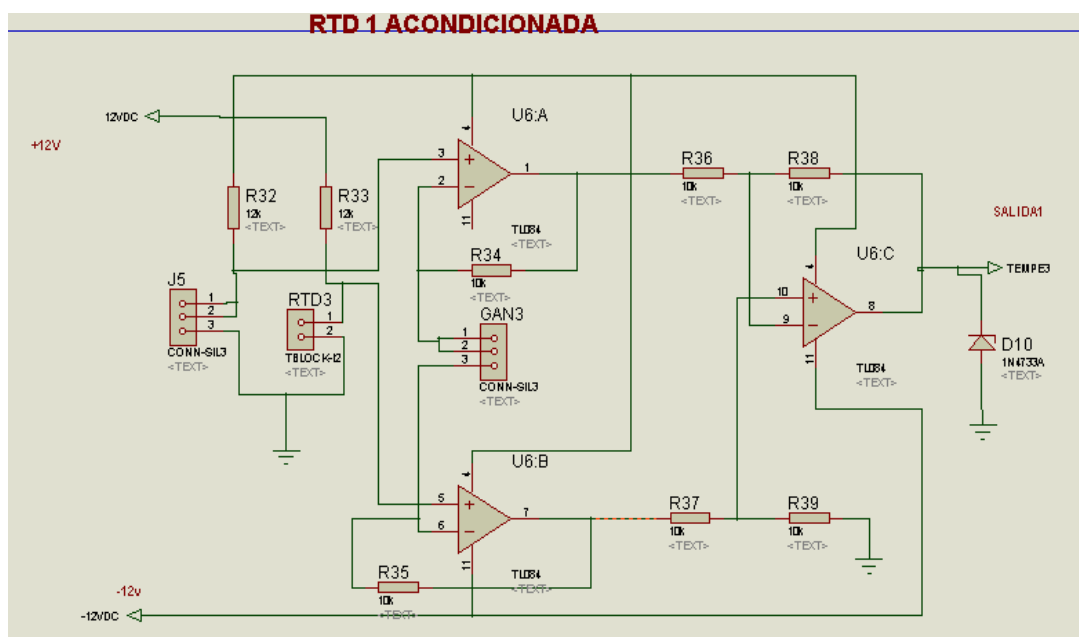


Fig. 102 Acondicionamiento de RTD

Refiriéndose ahora al sensor de concentración de monóxido de carbono se realizar el mismo análisis como se lo hizo para el sensor de temperatura.

SENSOR	CARACTERISTICA
FCC-380	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Sensor de estado sólido sin necesidad de mantenimiento ◆ Sistema de control con microprocesador que permite un funcionamiento automático virtual ◆ Alimentación de 9 VCC a 32 VCC, compatible con sistemas de 12-V y 24 V ◆ Tecnología de cuatro cables que permite la conexión de cualquier panel de control con certificación UL
MQ-7	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Necesidades de alimentación: 5V ◆ Tipo de interfaz: Analógico. ◆ Pin Definición: 1-salida, 2 GND, 3-VCC ◆ Alta sensibilidad al monóxido de carbono. ◆ Rápida respuesta. ◆ Tamaño: 40x20mm.

Tabla 25 Tabla de selección del sensor de monóxido de carbono

Las concentraciones de monóxido de carbono (CO) no son conocidas, pero este sensor servirá como indicador de que existe una gran presencia de CO, al llegar la señal al microcontrolador este hará que un elemento de potencia que se encuentra en estado ON pase al estado OFF.

Después de observar las características de los sensores disponibles en el mercado, se decidió utilizar el sensor de monóxido de carbono MQ-7, puesto que este cumple con las características específicas para la aplicación que se está desarrollando. (Ver sección de anexos B)



Fig. 103 Sensor MQ-7 utilizado para la aplicación.

Este sensor estará ubicado en el acumulador del gas, es ideal ya que por su pequeño tamaño ayuda mucho, al igual que por sus parámetros de funcionamiento, especialmente por su velocidad de respuesta, ya que al ser rápida genera un control óptimo en el proceso de la producción del gas dentro del gasificador.

Por datasheet se conoce que este sensor necesita de una resistencia de 100Ω antes de su conexión a GND, a continuación se puede observar el acondicionamiento requerido para el correcto funcionamiento del MQ-7

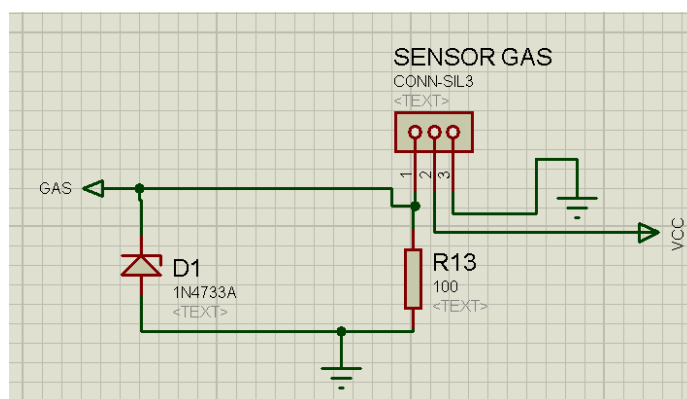


Fig. 104 Acondicionamiento sensor MQ-7

4.2.2.4. Selección de los elementos de potencia

El circuito posee tres niveles de voltaje, que son 12 V, -12 VDC y 5 VDC, los cuales se encuentran establecidos para sus cargas respectivas, tal como se describe a continuación:

- ♣ 12VDC • Motor DC, Alimentación TL084
- ♣ -12VDC • alimentación TL084
- ♣ 5 VDC1 • Alimentación de servos
- ♣ 5 VDC2 • Alimentación de microcontrolador y Sensores
- ♣ 5 VDC3 • Alimentación de GLCD

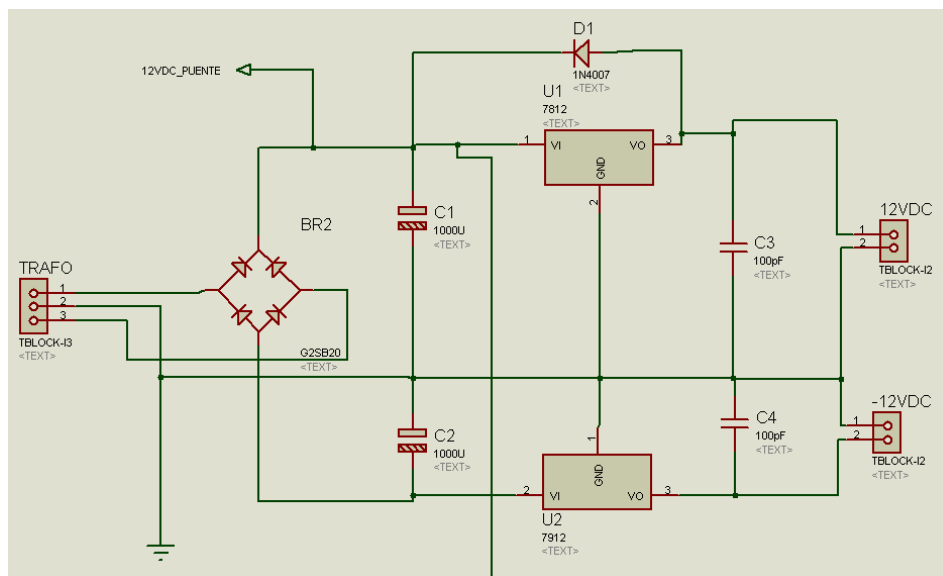


Fig. 105 Fuente de 12V

$$V_{out} = 1,251 \left(1 + \frac{Pote}{R_2} \right)$$

Como es necesario 5VDC, y el fabricante recomienda $R_2=120\text{ ohm}$, se tiene:

$$Pote = 120 \left(\frac{5V}{1.25} - 1 \right)$$

$$R_2 = 360$$

El capacitor C6 de 100 UF, se encarga de filtrar la señal generada de 5Vdc

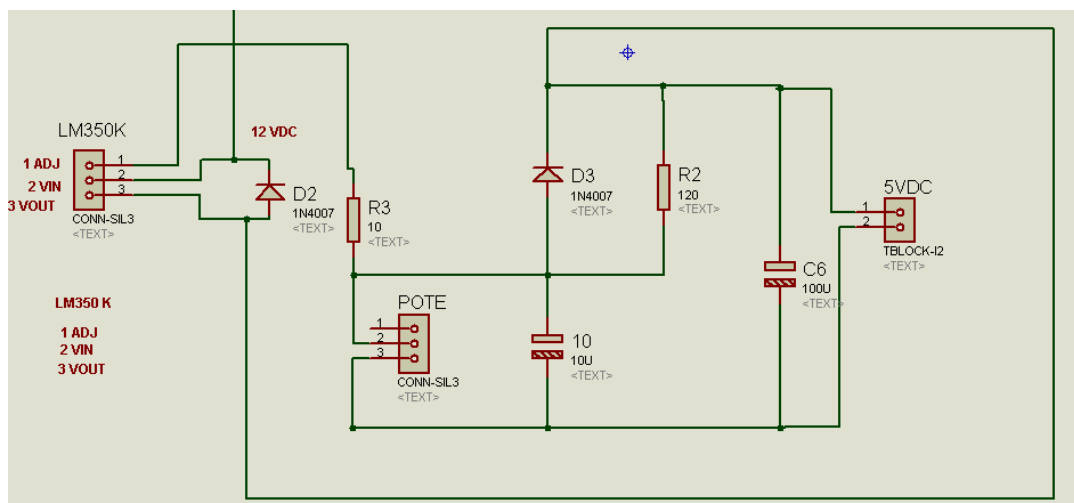


Fig. 106 Filtro de la señal de 5V

Cuando el circuito involucra el accionado de etapas de potencia, con relés, transistores, etc., los cuales a su vez alimentan motores y otras cargas de alto consumo de corriente, el funcionamiento del microcontrolador, (AVR) se puede ver seriamente afectado, debido a los ruidos eléctricos.

Para resolver el problema con los ruidos eléctricos, se debe tener en cuenta que el microcontrolador, es un circuito digital y que debe tratarse como tal, por lo que es necesario implementar ciertas medidas:

- Utilizar un condensador de Bypass, (0.1uF) entre los pines de alimentación (VCC y GND) del microcontrolador (lo más cerca posible) y de todos los demás circuitos integrados del circuito.
- Si el circuito maneja etapas de potencia, lo mejor es, utilizar una fuente independiente para el microcontrolador
- Utilizar conexiones a tierra separadas, para el microcontrolador y la etapa de potencia (GND Digital) y (GND Análoga).
- El uso de los optoacopladores, para aislar el o los terminales de salida hacia la etapa de potencia. Esto evita que se induzcan ruidos hacia el microcontrolador.
- Diseñe el circuito impreso, con una buena área para GND (plano de masa), con conexiones cortas entre componentes y líneas de tierra que partan de un solo punto

Fuentes de alimentación

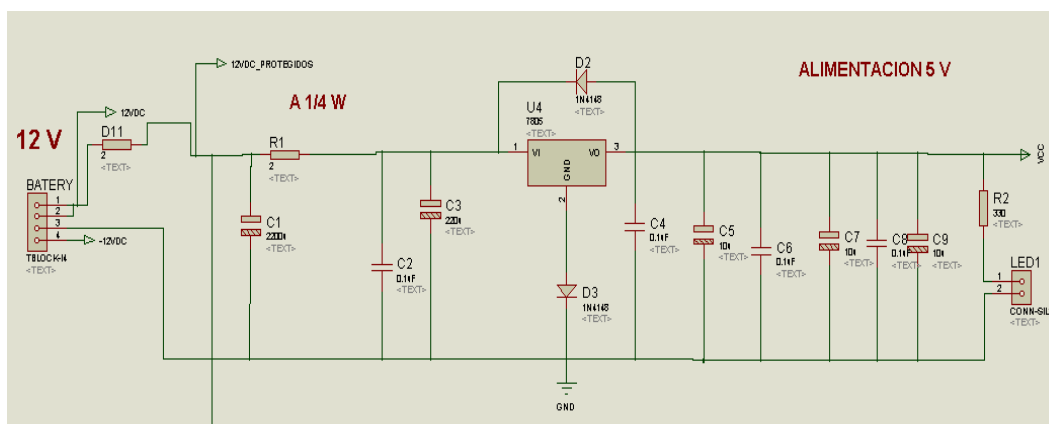


Fig. 107 Fuente de alimentación

En la entrada de la fuente el capacitor C1 de 2200uF se encarga de filtrar el voltaje DC proveniente de la rectificación del voltaje AC o del puente de diodos.

Después se tiene un filtro pasabajos RC, formado por R1 (2.2 Ohmios) y C3 de 220uF. Este filtro RC esta sintonizado a una frecuencia de 32Hz, todas las frecuencias por encima de esta, serán eliminadas, con lo cual queda el circuito protegido contra ruidos de artefactos de uso común, como: taladros, motores, etc.

El regulador de voltaje 7805 es un regulador de voltaje de 5Vdc de alimentación,

El diodo D2 (1N4148) protege al circuito contra inversiones de corriente, provocadas cargas en el circuito.

El diodo D3 (1N4148) provee 0.5Vdc adicionales, en caso de que una caída súbita de voltaje, pueda hacer descender el voltaje de alimentación del microcontrolador, al punto de hacerlo reiniciar.

Finalmente, una red de filtrado formada por C4 a C9, forman filtros LC con las pistas del circuito impreso, para asegurar un filtrado mejor y eliminar oscilaciones parasitas en la adquisición de señales de voltaje.

Para la generación de los 5Vdc de los servomotores se emplea un regulador de potencia LM350k, el cual tiene su siguiente formula por datasheet:

Elementos de potencia

Dentro del sistema, se utilizan relés de automóvil, los cuales funcionan a 12V 30A, estos dispositivos, servirán como interruptor dentro de las dos aplicaciones que se realizarán.

La primera aplicación es activar la bomba del combustible, esto nos ayuda a cortar el paso de gasolina cuando en la selección del sistema se ha escogido gas (biomasa)

A continuación se observa la configuración del relé para el funcionamiento de la bomba de combustible.

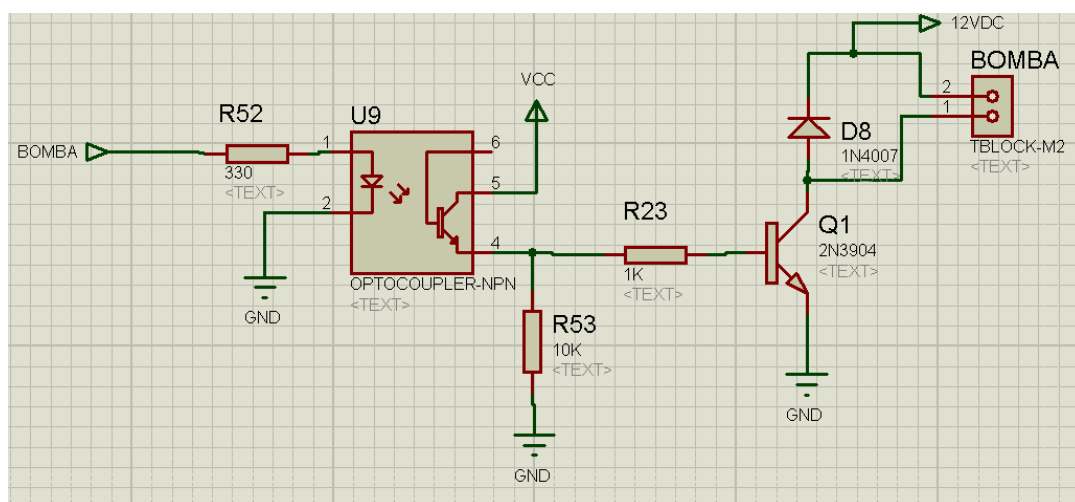


Fig. 108 Configuración del relé para la bomba de combustible

Como segunda aplicación se tiene el paso de energía hacia la resistencia termoelectrica, la cual tiene como datos técnicos los siguientes.

Voltaje de alimentación = 120V – AC

Potencia = 800W

Amperaje = 6.66A

Como todo el sistema tiene que estar alimentado solamente con la batería del vehículo, se necesitó realizar una conversión de la entrada de voltaje, es decir de AC a DC, para esto se utilizará un inversor de corriente continua a corriente alterna, que tenga como alimentación 12V, también como protección al sistema interno del inversor, se utilizarán transformadores, para poder reducir la entrada de alimentación de la resistencia.

Gracias al relé se puede prender al seleccionar la opción de gas, y se desactiva cuando el sensor de CO envía una señal.

En la siguiente figura se puede observar la configuración del relé para el funcionamiento de la resistencia termoeléctrica

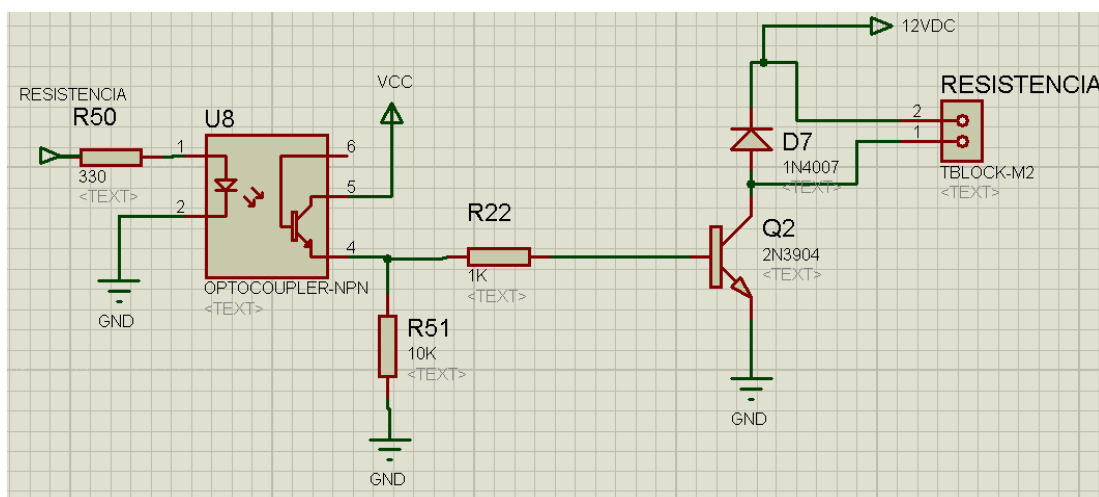


Fig. 109 Configuración del relé para la resistencia termoeléctrica

El microcontrolador genera una señal de 5Vdc a una corriente de 25mA, por tal razón se necesita la activación aislada del optotransistor 4N25

$$R = \frac{5Vdc}{25mA}$$

$$R = 200\Omega \approx 330\Omega$$

Al generarse una corriente sobre el optotransistor, se genera un 1L o 0L, en la R23, Para poder activar el relé ya sea de la bomba o de la resistencia termoeléctrica, se emplea el circuito de disparo mediante un transistor. Este transistor circula una corriente de 4mA y el voltaje de alimentación es de 12VDC, por tanto

$$R = \frac{12Vdc - 0,7}{4mA}$$

$$R = 1,03K\Omega$$

Como se puede ver en los acondicionamientos anteriores, se utiliza un transistor 2n3904, ya que se encuentra diseñado para funcionar a bajas intensidades, bajas potencias, tensiones medias, y puede operar a velocidades razonablemente altas. (Ver sección de anexos B). Las características primordiales por las que se utiliza este elemento son las siguientes:

- ◆ Es un transistor de 200 miliamperios,
- ◆ 40 voltios,
- ◆ frecuencia de transición de 300 MHz,
- ◆ tiene un beta de 100.
- ◆ Es usado primordialmente para la amplificación analógica.

4.2.2.5. Diseño del sistema de control

El objetivo principal es presentar los procedimientos para el diseño y la compensación de sistemas de control de una entrada y una salida e invariantes con el tiempo.

La compensación es la modificación de la dinámica del sistema, realizada para satisfacer las especificaciones determinadas.

Los sistemas de control se diseñan para realizar tareas específicas. Los requerimientos impuestos sobre el sistema de control se detallan como especificaciones de desempeño.

Como principal sistema de control en este proyecto se tiene el control de la posición del servomotor de la electroválvula variable, para esto es preciso encontrar la planta del sistema, esto se lo realiza por medio de la herramienta MatLab.

Primeramente se ingresan los valores de entrada y de salida como vector, seguidamente se utiliza el comando IDENT, este ayudará a encontrar la planta del sistema con los valores ingresados.

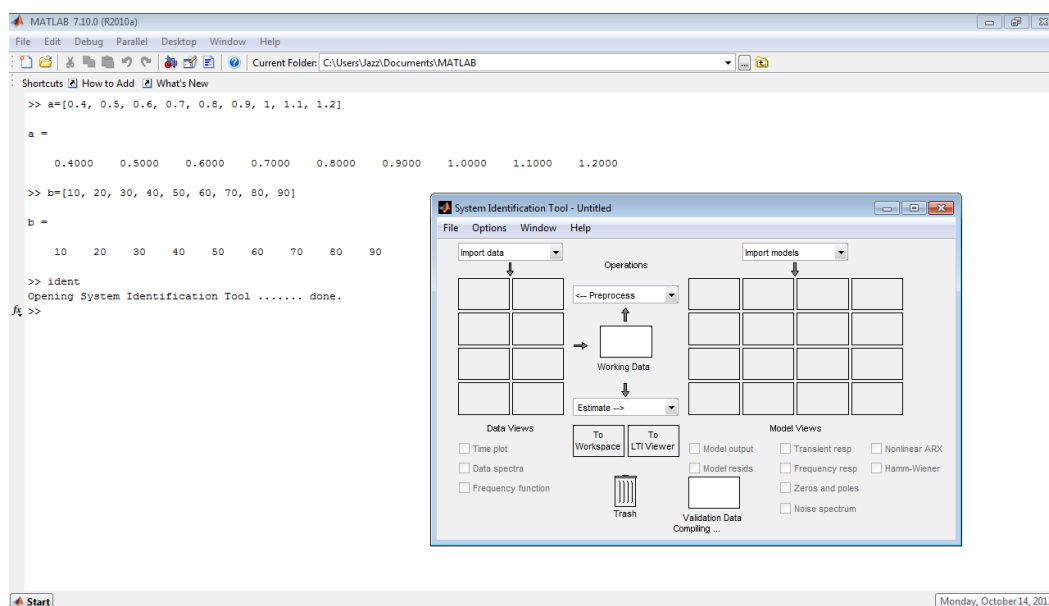


Fig. 110 Ingreso de vectores de entrada y salida

En la ventana se selecciona example y se da nombre a los vectores de entrada y salida, para esta aplicación en vector a será la entrada y el vector b la salida, una vez que se determina esto, se selecciona import.

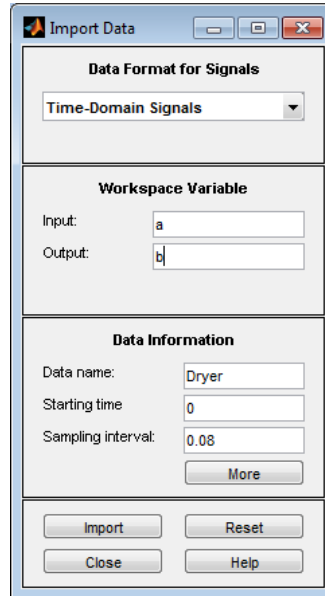


Fig. 111 Determinación vector entrada salida

Finalmente para obtener el modelo de la planta se selecciona process models y ahí se determina la característica de la planta que se desea.

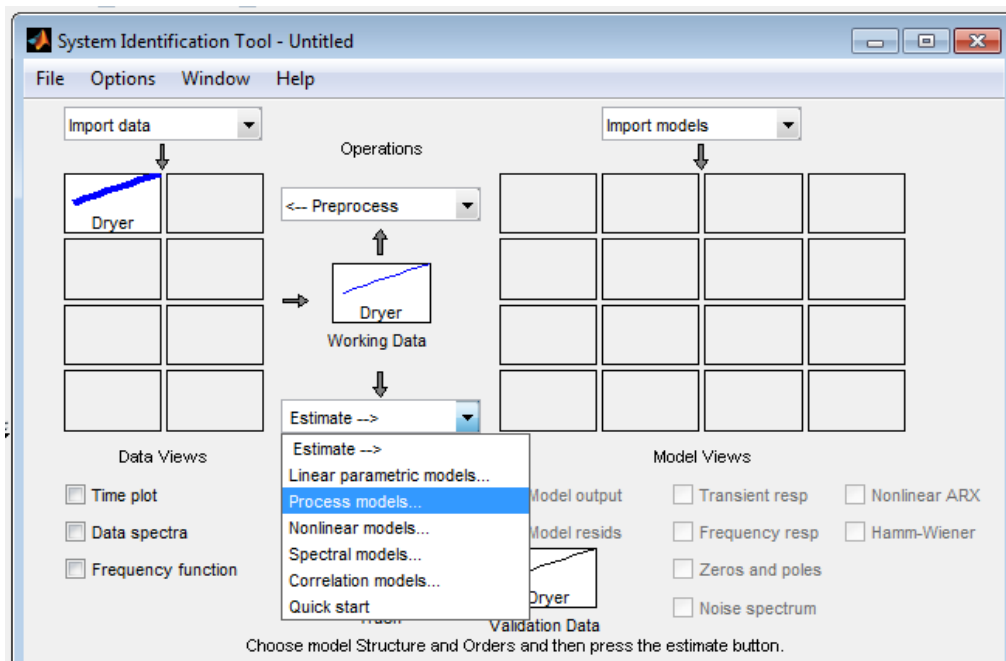


Fig. 112 Selección del modelamiento del proceso

Se conoce que un servomotor tiene una planta de primer orden, es por tal motivo que se selecciona el siguiente modelo matemático

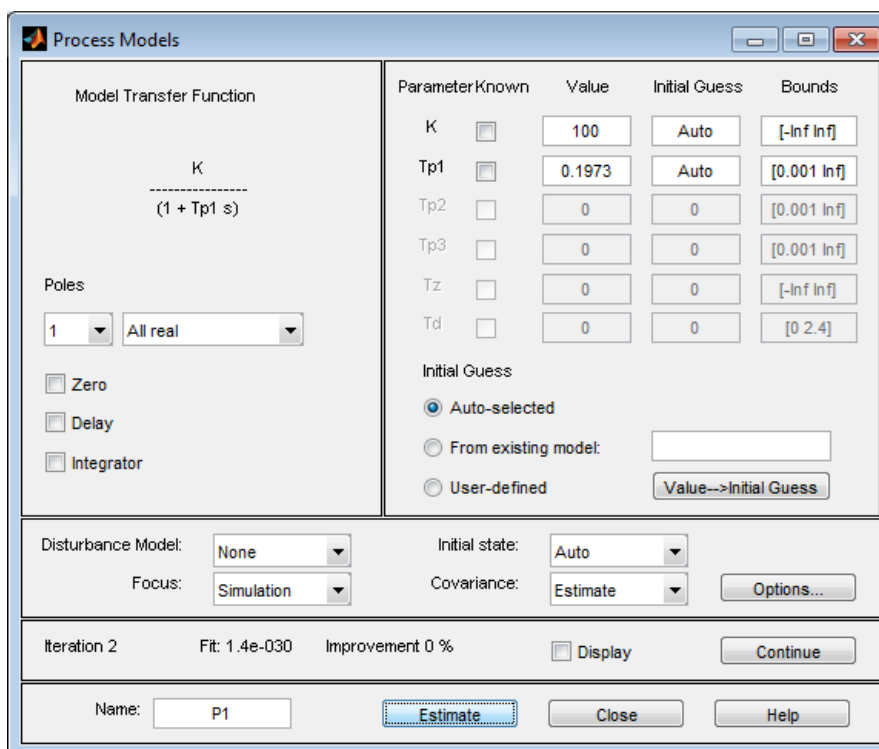


Fig. 113 Selección del modelo matemático

Donde los valores a utilizar son:

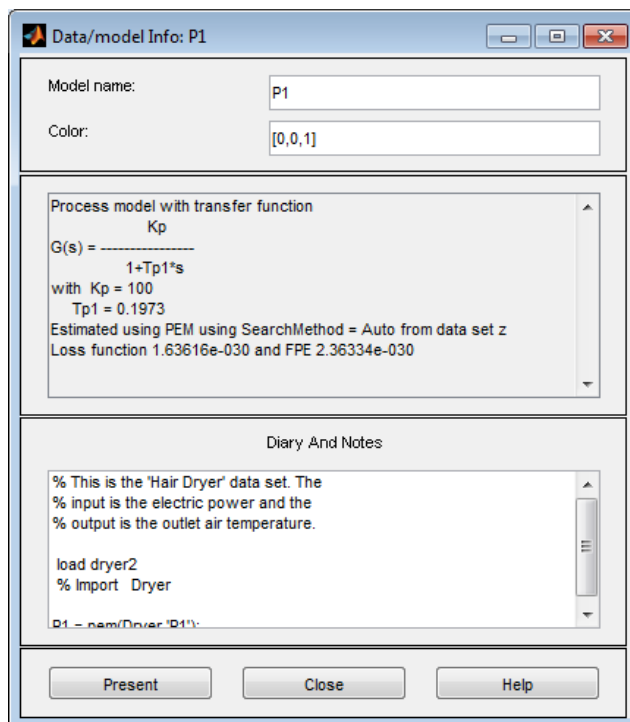


Fig. 114 Valores de K_p y T_{p1}

Una vez que se tiene ya el modelamiento matemático se puede ver cuál es su comportamiento en el tiempo, nuevamente gracias a las herramientas de MatLab se consigue realizar los análisis respectivos, y encontrar el comportamiento y el controlador para dicha planta.

La función de transferencia que corresponde a la planta del sistema es la siguiente.

$$P(s) = \frac{100}{0.1973s + 1}$$

Ecuación 16 Función de transferencia de la planta

El comportamiento de la planta representada por la ecuación 16 se lo muestra en la figura 115

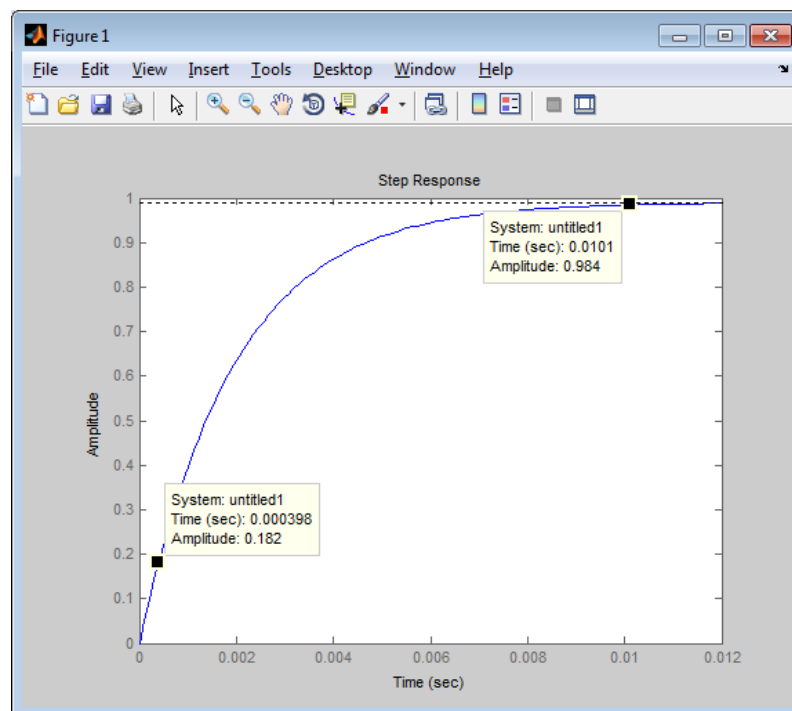


Fig. 115 Respuesta de la planta del sistema

Ahora se desea controlar este sistema, como se trata de un control de velocidad, se realizará un controlador Proporcional-Integral (PI)

Al tratarse de un control PI el modelo matemático que se utilizará para el controlador es el siguiente:

$$C(s) = K_c + \frac{K_i}{s}$$

Ecuación 17 Modelo matemático del control PI



Fig. 116 Diagrama de bloques controlador planta



Fig. 117 Reducción de diagrama de bloques

Al reducir el diagrama de bloques de la figura 117 se tiene:

$$G(s) = \frac{P(s)C(s)}{1 + P(s)C(s)}$$

Ecuación 18 Reducción de álgebra de bloques

De la ecuación 18 y con datos de las ecuaciones 16 y 17

$$G(s) = \frac{100K_c s + 100K_i}{0.1973s^2 + (1 + 100K_c)s + 100K_i}$$

Para encontrar los valores pertenecientes al controlador es necesario encontrar el polinomio característico, por diseño se requiere que tenga un polo en $S=-4$, por tanto el polinomio característico es:

$$s^2 + (5,068 + 506,84K_c)s + 506,84K_i = 0$$

Polo en $S=-4$

$$(s + 4)^2 = s^2 + 8s + 16$$

Una vez obtenido el polo y el polinomio característico se conocen los valores requeridos, por tanto:

$$K_c = 0.00578$$

$$K_i = 0.0315$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 15

$$C(s) = \frac{0.00578s + 0.0315}{s}$$

Una vez encontrado el controlador en tiempo continuo, es necesario discretizarlo, para esto se utilizará la aproximación de Tustin

$$s = \frac{2}{T} \left(\frac{z - 1}{z + 1} \right)$$

Ecuación 19 Aproximación de Tustin.

El tiempo de muestreo en esta aplicación es de $T=0.5$ seg

Por tanto reemplazando la ecuación 17 en $C(s)$, se tiene el controlador discreto $C(z)$

$$C(z) = \frac{0,02726z + 0.00414}{2(z - 1)}$$

El comportamiento de la planta discreta se lo puede observar en la figura

118

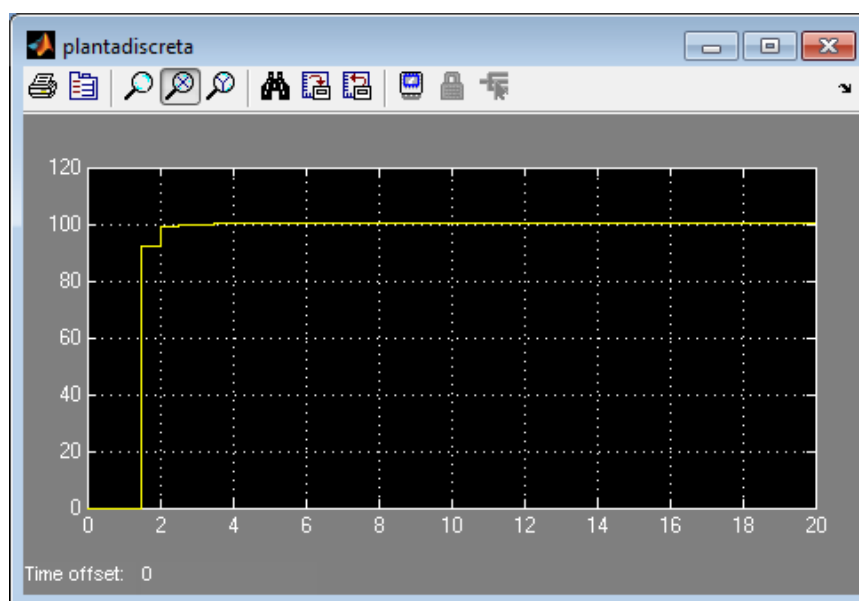


Fig. 118 Simulación planta discreta

En la figura 119 se puede observar que el sistema está controlado bajo los parámetros de diseño, puesto que se estabiliza en pocos segundos, sin tener mucha oscilación.

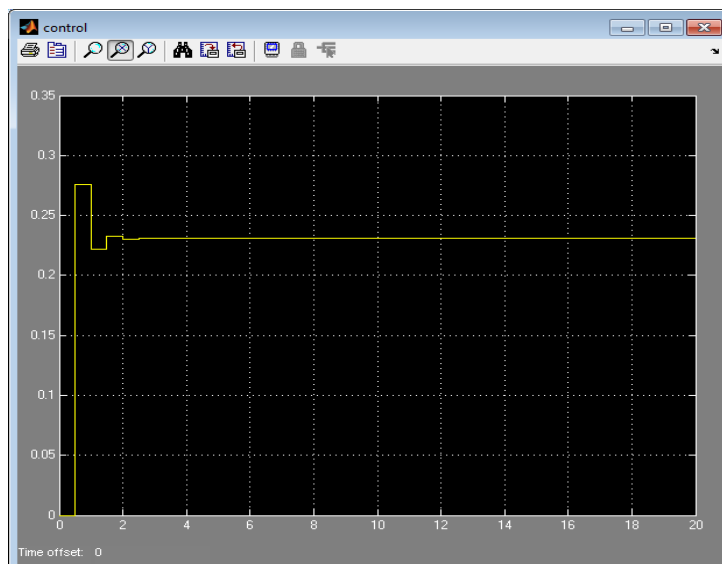


Fig. 119 Planta controlada

El control se lo realizo bajo el régimen de las herramientas de MatLab, en primera instancia se creó un programa el cual tiene internamente una función (Ver sección de anexos B), misma que permitirá posteriormente ser llamada para el diagrama en Simulink, en la figura 120 se presenta el diagrama de diseño en Simulink para cualquier tipo de control (P, PI, PD, PID), donde se varían los valores de las constantes respectivas para encontrar el control más apropiado, este método se lo conoce como método de sintonización.

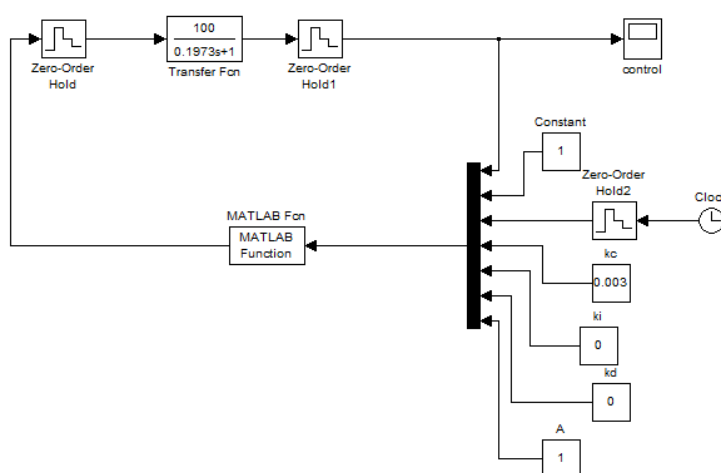


Fig. 120 Diagrama de control.

Como parte del control de las revoluciones del motor DC se tiene el uso o variación del ancho de pulso PWM, el cual realiza un switching al mosfet IRF 450P, que es un mosfet de 15A, 400V, el cual permite regular el voltaje en las terminales del motor, desde 0 a 12Vdc que es la fuente que se posee.

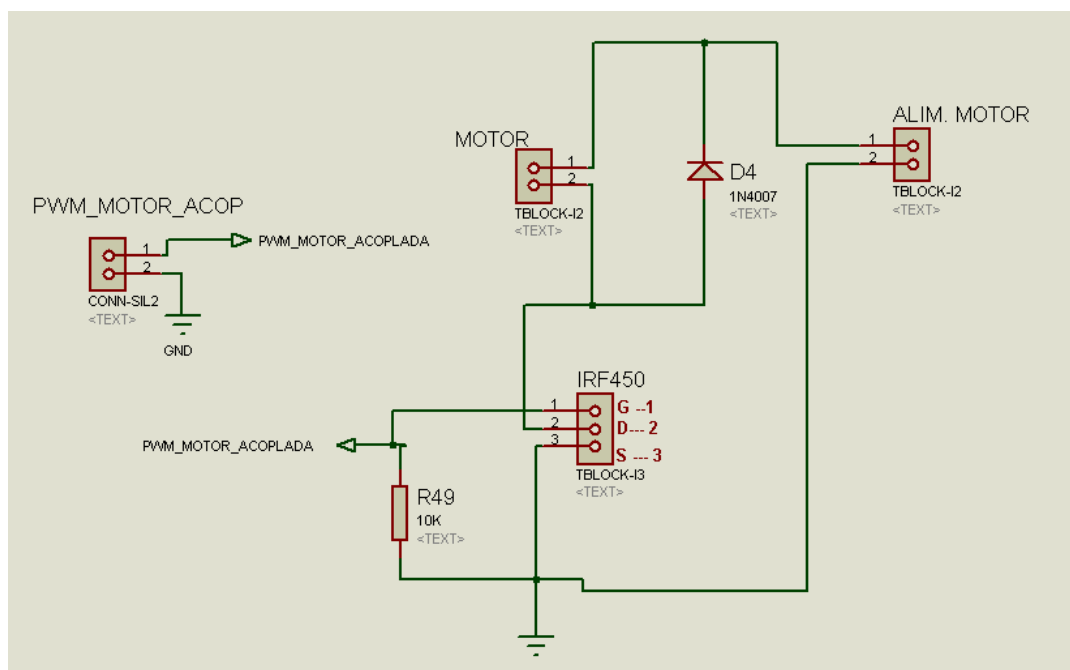


Fig. 121 Configuración del servomotor

4.2.2.6. Diseño del programa de control

Para realizar el programa que controlará todo el sistema, primero se lo divide por etapas, siendo estas las partes de configuración de cada elemento que se utiliza dentro del proyecto, de esta manera se podrá entender cada una de las secciones.

El programa se encuentra dividido como se muestra a continuación:

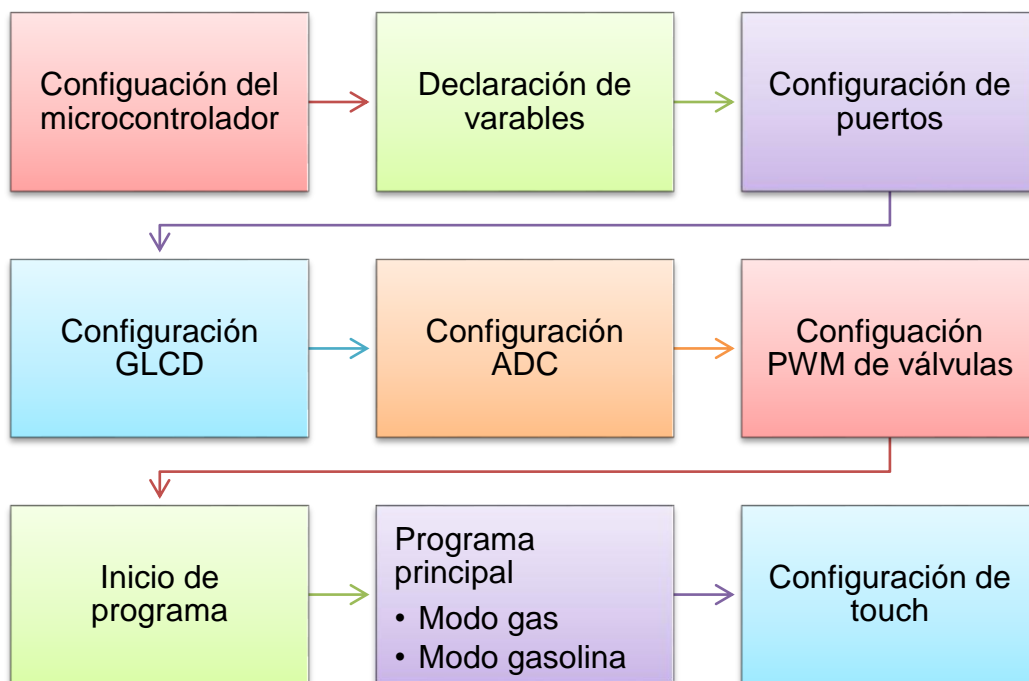


Fig. 122 Estructura del programa de control.

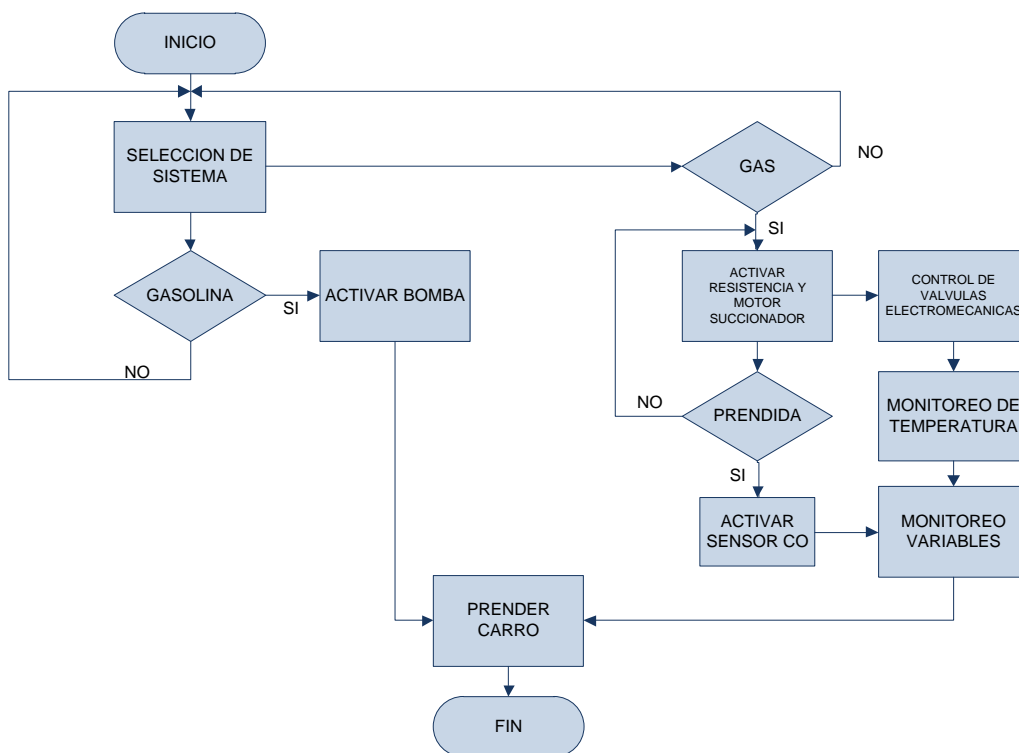


Fig. 123 Diagrama de flujo del proceso

4.2.2.7. Diseño de la placa de control y potencia

Generalmente el diseño se realiza en dos etapas:

- ♦ Interconectividad. (Ver sección de anexos B)
- ♦ Ruteo

De acuerdo a la funcionalidad del circuito se seleccionan los componentes a utilizar y las interconexiones entre ellos, para esto se hace uso de software editor en donde se realizará el esquema eléctrico, requiriendo el apoyo de la documentación técnica como “datasheets” y herramientas computacionales.

Existe una amplia gama de programas útiles para la elaboración de circuitos esquemáticos y ruteo.

FABRICANTE	NOMBRE	CIRCUITO ESQUEMATICO	CIRCUITO IMPRESO
Cadsoft	Eagle	Schematic	Board
MicroSim Corporation	DesignLab	Microsim	MicrosimPCB
LabCenter	Proteus	Isis	Ares
National Instruments	Circuit Design	Multisim	Ultiboard
Cadence Technology	Orcad	Capture	Orcad PCB
Sales Inc.	Easy-PC	Schematic	PCB Layout

Tabla 26 Software de diseño y ruteo.

Se debe tener las siguientes consideraciones en el diseño.

Refiriéndose a los componentes, se debe considerar la disponibilidad de los elementos seleccionados, dado que muchos de ellos pueden ya encontrarse discontinuados o bien su paquete o encapsulado posiblemente haya cambiado. En caso de que exista este problema se procura solucionarlo mediante la elaboración personalizada de encapsulados para el PCB previa consideración de las dimensiones en las hojas técnicas.

En cuanto a las pistas, se considera el espesor y longitud máxima de cada pista, así como la corriente máxima de conducción, donde espesor se refiere a la “altura” de la pista respecto al material que sirve de base de la placa.

Una apropiada separación entre las pistas es crítica para evitar saltos de energía entre conductores. Existe gran variedad de estándares que dependen del voltaje, aplicación y otros factores.

El espesor de las placas suele darse en onzas por pie cuadrado. Las más comunes son de 1, 2 y 3 onzas por pie cuadrado, donde cada onza corresponde a unas 35 micras de grosor.

Existen herramientas de software que facilitan el cálculo de las dimensiones según los parámetros solicitados, o bien se pueden seguir recomendaciones o estándares como el ANSI-IPC 2221 desarrollado por la IPC 15⁶⁹

Existen varios efectos que se deben tomar en cuenta para un buen diseño y posteriormente un trabajo ejemplar sin ningún inconveniente.

◆ **Efecto resistivo.**

Todo material posee una resistividad, y de acuerdo a sus dimensiones se puede obtener una resistencia, como lo muestra la ecuación 20

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Ecuación 20 Resistencia

En donde:

R: Resistencia eléctrica [Ω].

ρ: Resistividad eléctrica del material [Ωm].

⁶⁹ IPC: Association connecting electronics industries. Para mayor información sobre el estándar se puede visitar la página web en la dirección <http://www.ipc.org>.

L: Longitud en metros.

A: Área transversal [m²].

Debe considerarse la resistencia de la pista sobre todo en sistemas de instrumentación, donde pequeñas caídas de tensión pueden provocar grandes diferencias en la señal.

♦ **Efecto térmico.**

Las condiciones de temperatura pueden provocar ligeras variaciones en el valor de la resistencia en las pistas. Esto se debe a que la resistividad del material depende de las variaciones térmicas a las que se ha sometido, como se indica en la ecuación 19

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha(T - T_0))$$

Ecuación 21 Resistividad de un material

En donde:

α : Coeficiente de temperatura [°C⁻¹].

ρ_0 : Resistividad eléctrica del material a una temperatura referencial [Ωm].

T: Temperatura actual [°C].

T₀: Temperatura referencial [°C].

Una forma de reducir los efectos de calentamiento de los elementos es a través de disipadores y también la ubicación de los equipos de forma que se facilite su ventilación.

♦ **Efecto capacitivo e inductivo.**

Es el efecto de corrientes inducidas debidas a circuitos de alta potencia, es por ello que se recomienda:

- ♦ Distanciar a la circuitería de potencia de los circuitos de control.

- ◆ Orientar las pistas de un lado de la placa de forma vertical y a las del otro lado de forma horizontal, de forma que se minimicen las capacitancias parásitas por el denominado efecto de placas paralelas.
- ◆ Para reducir el ruido por conmutación en los circuitos digitales se recomienda colocar un capacitor de 0.1uF entre la fuente y la tierra, lo más cercano a cada integrado.
- ◆ Orientar perpendicularmente a las bobinas y transformadores, para minimizar el efecto sobre los otros circuitos.
- ◆ Reducir la autoinducción en las pistas a través de curvar las esquinas en un ángulo no superior a 45°.
- ◆ Separar las tierras entre lo analógico y digital utilizando acoplamientos.
- ◆ **El incremento máximo de temperatura.**

Hace referencia a la tolerancia de incremento en la temperatura, así pues si se tiene una temperatura ambiente de 25°C y no se desea nunca que la temperatura sobrepase los 45°C, el incremento de temperatura permitido será 20°C.

- ◆ **Otras consideraciones.**
 - ◆ Colocar el pad16 de acuerdo al peso y tensión a soportar.
 - ◆ Es recomendable utilizar sócalos para un reemplazo rápido de los elementos.
 - ◆ No colocar componentes delicados a los extremos de la placa, para evitar topes con los bordes de la carcasa.
- ◆ **Cálculo del ancho de las pistas.**

Conociendo las especificaciones respecto a la corriente, incremento de temperatura y espesor, se puede calcular el ancho de la pista, como lo indica la ecuación 20

$$W = \frac{A}{L * 1,378}$$

Ecuación 22 Ancho de la pista conociendo el área transversal

Donde:

W: Ancho resultante en mils (th).

A: Área transversal en mils al cuadrado (th²).

L: El grosor expresado en onzas por pie cuadrado.

El área transversal a su vez dependerá del incremento de temperatura y de la corriente máxima que va a circular, como se indica en la ecuación 23

$$A = \left[\frac{1}{K1 * \Delta T^{k2}} \right]^{k3}$$

Ecuación 23 Área transversal de la pista

Donde:

A: Área transversal en mils al cuadrado (th²).

I: Corriente máxima.

k1: Constante definida por el estándar aplicado: 0.0150 para placas con más de dos capas y 0.0647 para placas que tienen solo capas externas.

k2: Constante que vale 0.5453 cuando la pista es interna y 0.4281 cuando la pista es externa.

k3: Constante que vale 0.7349 cuando la pista es interna y 0.6732 cuando es externa.

Sustituyendo la ecuación 21 en la ecuación 20 se obtiene la ecuación final para el ancho de la pista, expresado en mils (th):

$$W = \frac{\left[\frac{1}{K1 * \Delta T^{k2}} \right]^{\frac{1}{k3}}}{L * 1,378}$$

Ecuación 24 Ancho de la pista.

♦ **Cálculo del espaciado entre pistas.**

El estándar IPC-2221 es muy utilizado a nivel mundial para el diseño de un PCB genérico. La tabla 26 provee información sobre el mínimo espaciado entre conductores en función del voltaje aplicado.

Voltaje pico (Vp)	Capas internas		Conductores externos desnudos		
	V	mm	Th	Mm	th
15	0.05	2	0.1	4	4
30	0.05	2	0.1	4	4
50	0.1	4	0.6	24	24
100	0.1	4	0.6	24	24
150	0.2	8	0.6	24	24
170	0.2	8	1.25	50	50
250	0.2	8	1.25	50	50
300	0.2	8	1.25	50	50
500	0.25	10	2.5	100	100

Tabla 27 Espaciado entre pistas.⁷⁰

♦ **Las pistas.**

Se utilizará la recomendación ANSI-IPC 2221 para el cálculo del grosor de las pistas, el distanciamiento pista a pista y pista a pad.

Para ello es importante tomar en cuenta las características eléctricas de los elementos involucrados.

- ♦ **Espesor:** Se usará una placa con un espesor de 1 onzas por pie cuadrado. Esto permite utilizar el mismo diseño para placas de mayor espesor.
- ♦ **Corriente:** La corriente difiere en función de la potencia de consumo de los elementos eléctricos y electrónicos involucrados en cada interconexión.

⁷⁰ Recomendación IPC 2221.

- Corriente de consumo resistencia motor max. 10A 12VDC
- Corriente de consumo de los leds: 640 uA.
- Corriente de consumo en la base del transistor 2N3904 1.85mA.

Cálculo del ancho de las pistas.

Para un correcto ancho de pista la norma sugiere basarse en dos gráficas

- Gráfica Corriente vs Sección transversal

La corriente máxima que soportarán las pistas son aproximadamente 10A y la temperatura máxima permisible es 47°C, con ello conseguimos una sección transversal de 180 mils (milésima parte de la pulgada) cuadrados.

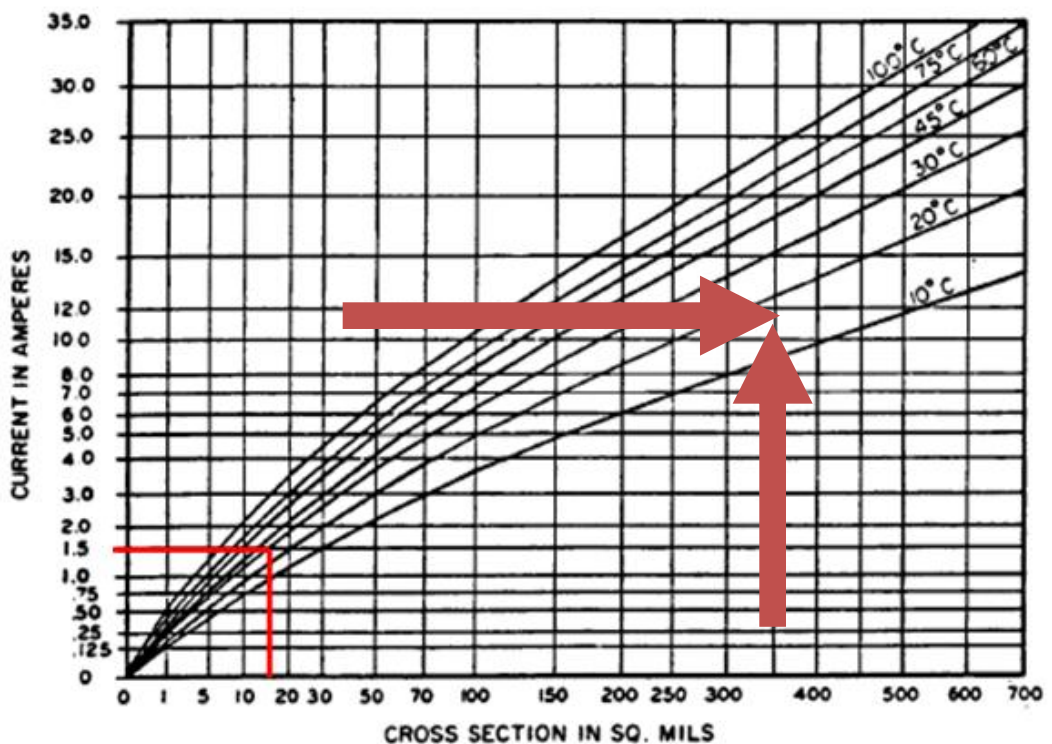


Fig. 124 Diagrama Corriente vs Sección transversal

♦ Gráfica Ancho del Conductor vs Sección transversal

Una vez calculada la sección transversal de 180 mils (milésima parte de la pulgada) cuadrados, y con el espesor de nuestra baquelita (valor ya determinado, no se puede cambiar), calculamos el ancho correcto de pista que corresponde a un valor de 0.100 in.

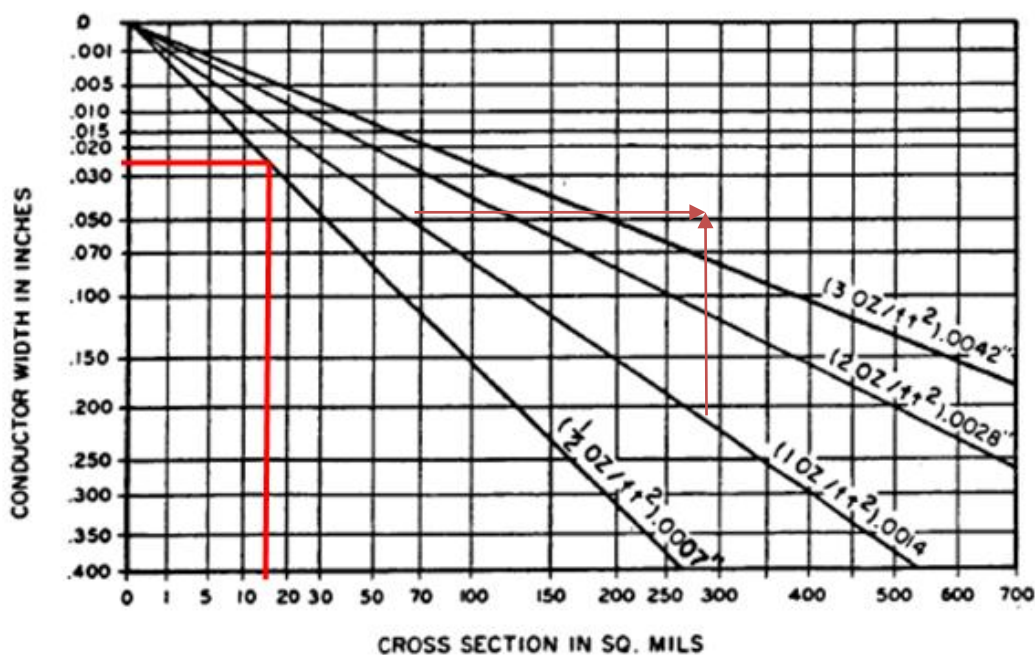


Fig. 125 Diagrama Ancho de Conductor vs Sección transversa

Cálculo del espaciamento pista a pista / pista a pad.

El voltaje de trabajo en los módulos del circuito AVR es de 5 V en corriente continua para los elementos digitales.

Por seguridad se sobredimensionarán los voltajes pico con un 10%.

Así se tiene:

- Voltaje pico para la parte digital: $5V + 10\% = 5.5V_p$

Con los cálculos realizados se obtiene el espaciamento mínimo entre pistas. Separación entre pistas digitales: 10th.

Longitud máxima de la pista.

Con la resistencia por metro de la pista y la intensidad de corriente circulante se calcula la longitud máxima que garantice una caída de tensión dentro de los rangos de tolerancia establecidos.

Para establecer la longitud de la pista máxima tolerable se recurre a la ley de Ohm:

$$V = I * R$$

Ecuación 25 Ley de Ohm

$$V = I * 9.04 \frac{\text{Ohms}}{\text{m}} * L$$

$$L = \frac{V}{I * 9.04 \frac{\text{Ohms}}{\text{m}}}$$

Ecuación 26 Longitud máxima para una pista de cobre con 4.26th² de área transversal

En donde:

L: Longitud de la pista [m].

I: Intensidad de corriente sobre la pista [A].

V: Caída de voltaje tolerable [V]

Se tiene un voltaje de trasmisión de 2.8 VDC a 24mA para el peor escenario posible, con una tolerancia en la caída de tensión de 0.6 VDC. De la ecuación. 26

$$L = \frac{0.6V}{0.024A * 9.04 \frac{\text{Ohms}}{\text{m}}} = 2.76m$$

El resultado indica que se necesita una longitud de pista de 2.76m para provocar fallas en la lectura de los datos digitales. Esto significa que el efecto resistivo no afectará la comunicación digital, ya que las placas electrónicas de los módulos tendrán unos pocos centímetros de longitud

Como parte del aislamiento entre la parte de control y potencia se emplea un optoacoplador, también llamado optoaislador o aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y detección de luz que funciona como interruptor excitado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico.

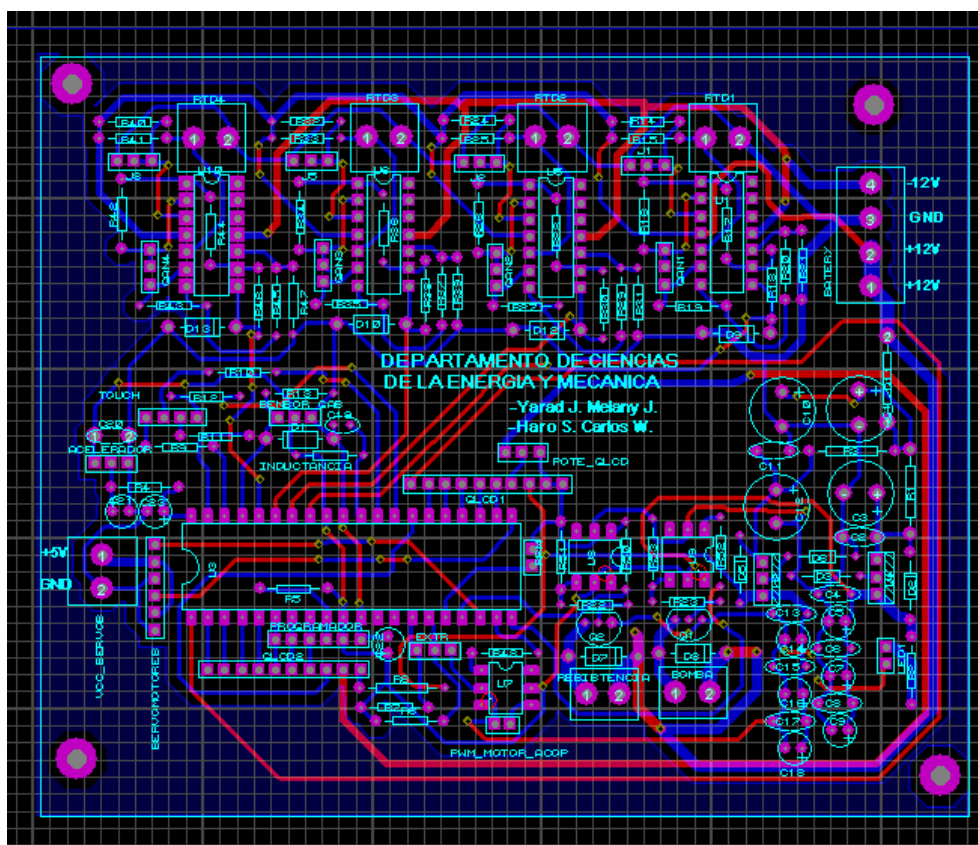


Fig. 126 Diseño de la placa de control

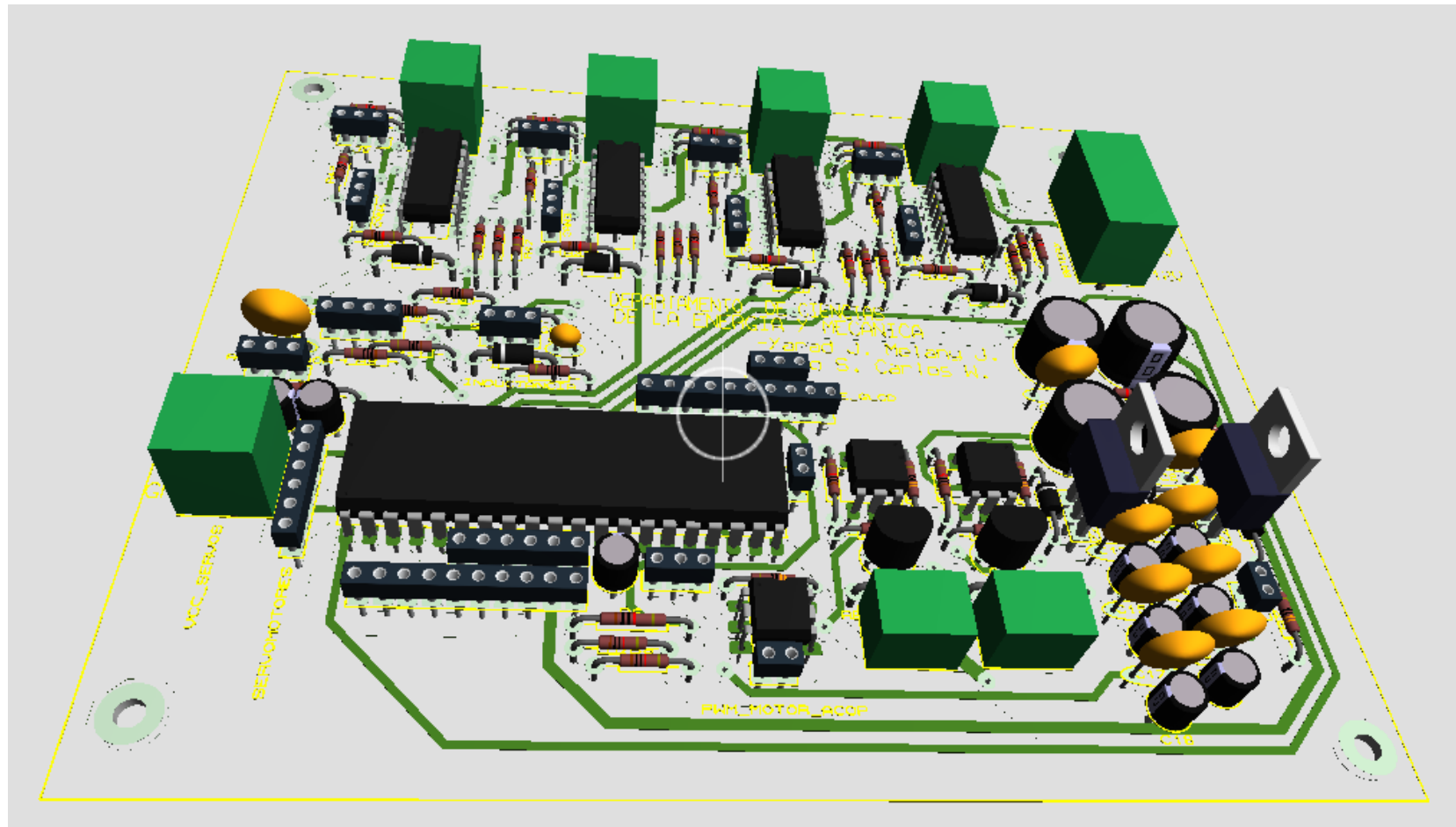


Fig. 127 Vista 3D de la placa de control

CAPÍTULO 5

5. CONSTRUCCIÓN INSTALACION Y PRUEBAS

5.1. Construcción

A continuación se detalla el proceso de construcción de cada uno de los componentes diseñados en el capítulo anterior.

Para poder formar el sistema, se unió mediante soldadura MIG todos los elementos adquiridos de reciclaje, estos ya fueron seleccionados anteriormente porque sus propiedades eran aptas para cumplir con las exigencias y requerimientos del diseño, en el primer plano del anexo A se encuentra detallado el diseño final del gasificador

5.1.1. Construcción del reactor

Inicialmente fue necesario cortar la tubería de cédula 40 de 6 pulgadas, con ayuda de un cortador de plasma, incluyendo el ducto por el cual ingresará la resistencia termoeléctrica y el aire que completará la combustión en la zona de oxidación.



Fig. 128 Tubería cédula 40

A continuación se colocará una parrilla móvil en uno de los extremos de la tubería, el más cercano al agujero de la zona de reducción, esta parrilla contará con un péndulo en el extremo de la bisagra, cuya función será de agitar y remover los trozos pequeños de carbón y cenizas, y conducirlos al cenicero.



Fig. 129 Zona de reducción acoplada a la tolva

La tubería de 6 pulgadas viene a tomar el nombre de ducto de zonas de generación, este ducto que en un extremo cuenta con la parrilla de retención, tendrá colocado en su extremo contrario una tolva de almacenamiento y alimentación, la cual será construida a partir del tanque seleccionado en el diseño, al cual se le realizó un agujero con un disco de corte en el fondo del mismo para acoplarlo al ducto y un corte en la sección superior que servirá de tapa de la tolva, dicha tapa tendrá un anillo interior cortado, curvado y soldado a modo de falda, que se ajustará para dar un cierre hermético



Fig. 130 Construcción tapa

El principal enfoque en la construcción de la tapa fue el de desarrollar un sistema que soportara cualquier tipo de explosión instantánea que pudiera generarse por la inestabilidad del gas, por ello fue necesario idear un sistema emergente de liberación de presión colocando resortes en la tapa.



Fig. 131 Resortes

Para concluir con la construcción del reactor, es necesario acoplar el ducto de zonas de generación a su acumulador exterior, que será construido a partir de un tanque de termostato, el cual será limpiado y posteriormente se comprobará que el estado en el que se encuentra, cumpla con los requisitos para su funcionamiento.

Tras comprobar la funcionalidad del tanque se reconstruyeron las tapas superior e inferior además de realizarle los agujeros para el ducto de entrada de aire y salida de gas correspondientes.



Fig. 132 Acumulador exterior.

Con ayuda de suelda MIG se acopló el acumulador al ducto de zonas de generación.



Fig. 133 Acople final del reactor

5.1.2. Construcción del separador ciclónico

Tomando en cuenta los parámetros de diseño, es necesario descargar todo el contenido del extintor y realizar una limpieza exhaustiva del interior para determinar si las condiciones son aceptables para construir el elemento requerido por el sistema.

Luego de que se confirmó el buen estado del elemento, se realizó un corte transversal en la parte superior del mismo, y un agujero tangencial en uno de sus costados para colocar el ducto de ingreso de aire, después se cortó una tapa que sellará la sección superior y que contará con un ducto de salida cuya longitud está especificada en el diseño.

Finalmente en el fondo del recipiente es necesario colocar un tapón que permita remover los residuos del separador.



Fig. 134 Separador ciclónico

5.1.3. Construcción del filtro del gas

Para facilidad de manipulación, limpieza y mantenimiento se tomó la decisión de diseñar un conjunto de filtrado acoplado el filtro de partículas al separador ciclónico y haciéndolo un solo elemento, denominado conjunto de depuración, dicho conjunto será construido a partir del tanque seleccionado en el diseño.

El tanque de refrigerante tendrá el mismo proceso al que fue sometido la tolva del reactor, es decir se cortará en la sección inferior para su acople con la salida del ciclón y en su parte superior se construirá una tapa para un cierre hermético, salvo que esta no tiene la necesidad de llevar un mecanismo de seguridad para flameo y explosiones, solo contará con dos pernos para su fijación.



Fig. 135 Conjunto de depuración.

Interiormente es necesario implementar una sección donde irá colocado el material de filtrado escogido, en este caso lana de madera, esto se llevará a cabo a través de dos canastillas, mismas que se encargarán de mantener en su lugar a dicho material, para lo que es necesario instalar ángulos en el interior del contenedor para afirmarlas.



Fig. 136 Interior filtro de gas.

5.2. Instalación

Para tener como referencia las posiciones de los componentes se tiene el siguiente esquema de referencia

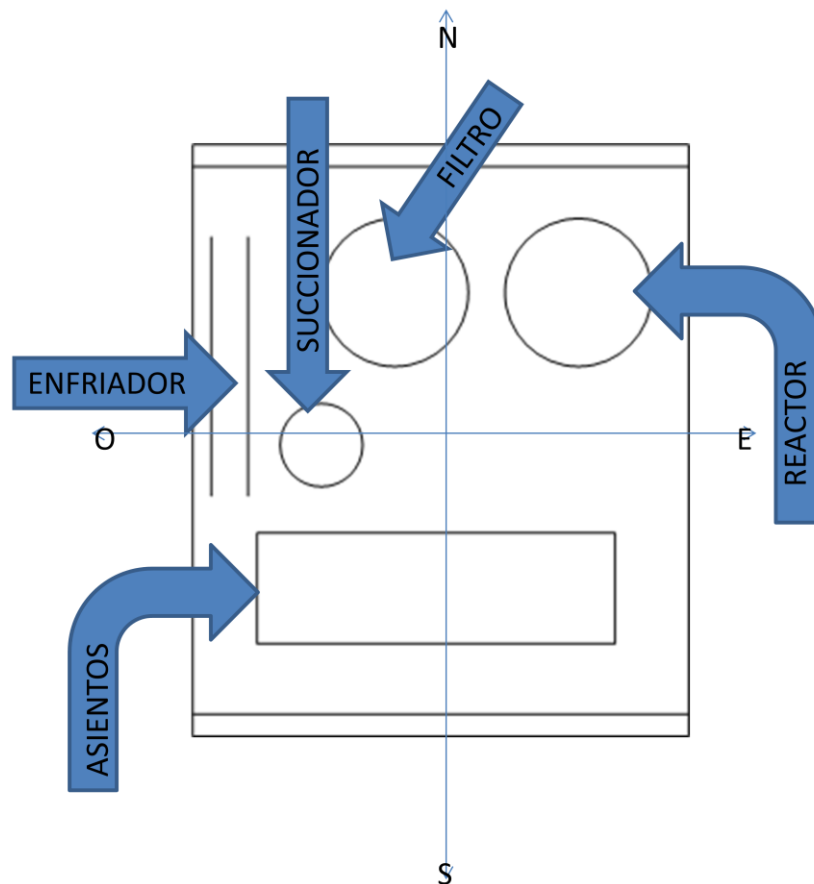


Fig. 137 Esquema ubicación de elementos

5.2.1. Instalación del reactor

Para colocar el reactor dentro del vehículo, es necesario buscar el lugar más adecuado, refiriéndose así que debe estar separado del piloto y copiloto, ya que al estar encendido llega a altas temperaturas.

Es por esto que después de ver todas las medidas de precaución, se lo instaló al noreste del balde de automotor, se encuentra sujeto a la carrocería por medio de cuatro pernos, ubicados en las patas del mismo.

5.2.2. Instalación del separador ciclónico

El separador ciclónico debe ser acoplado al ducto de gas de salida del reactor por un acople universal, además es necesario colocar locktite en la rosca para asegurar hermeticidad en el sistema al momento de apretar.



Fig. 138 Unión de acople

5.2.3. Instalación del filtro del gas

Puesto que el recipiente del filtro de partículas está acoplado en la parte superior del ciclón, lo único necesario es proceder a colocar las canastillas de separación y el material filtrante.



Fig. 139 Filtro de partículas

5.2.4. Instalación del enfriador o intercambiador de calor del gas

Una vez seleccionado el elemento de refrigeración más idóneo para el proceso, es necesario asegurarlo firmemente en el lugar designado, (lado oeste del vehículo), donde exista una buena circulación de aire durante la marcha del automotor.



Fig. 140 Ubicación de enfriador.

5.2.5. Instalación de los elementos de control

Para poder instalar toda la parte electrónica del sistema es necesario realizar un cableado, el cual debe estar bien instalado, para evitar inconvenientes, sean estos técnicos o de espacio dentro del vehículo, por esta razón, todos los cables se encuentran por solo camino dentro de una esterilla protectora, misma que permite la protección térmica del sistema y del movimiento producido por el mismo automotor.

En la figura 141 se puede observar cómo está distribuido internamente del automotor el cableado del sistema.



Fig. 141 Cableado de luces y de control del sistema.

◆ **Sensor de gas**

El sensor de gas se encuentra instalado en un lugar específico del acumulador del gas de sistema, este acumulador está localizado en la parte delantera del Jeep, y el sensor está situado en la parte superior lateral izquierda, ya que al entrar el gas, este generará un vórtice en el interior, al llegar el gas al sensor este empezará a sensor hasta su límite y enviará la señal correspondiente.

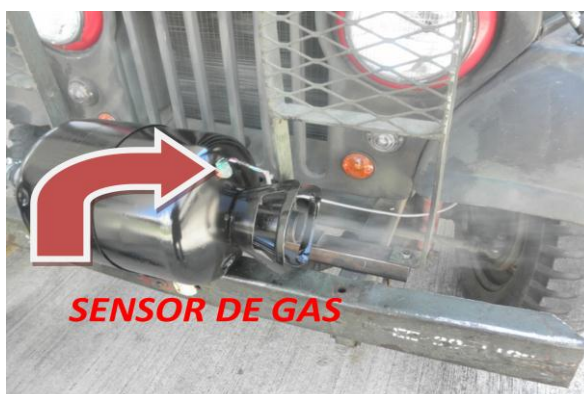


Fig. 142 Ubicación del sensor de gas en el acumulador

◆ **Sensor de temperatura**

Las RTDs que se están utilizando como sensores de temperatura, son para poder conocer las temperaturas que se están generando dentro de las zonas de oxidación y pirolisis en el gasificador.

Estas temperaturas son referenciales, para poder conocer el proceso que se genera antes de la producción del gas.

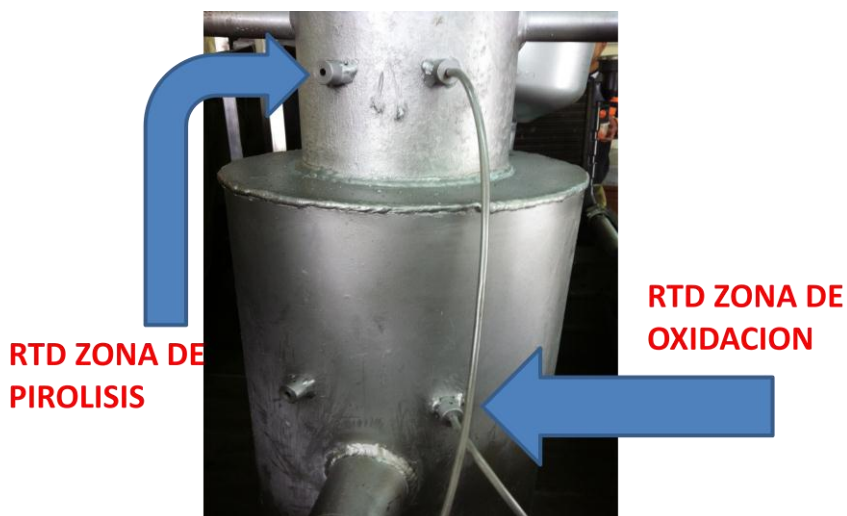


Fig. 143 Ubicación de los sensores de temperatura en el gasificador

◆ **Potenciómetro**

El potenciómetro se encuentra sobre el acelerador del vehículo, pues de esta manera gracias al mecanismo acoplado, permite medir la variación de la aceleración para la apertura de las válvulas.

El giro del potenciómetro se lo puede variar dependiendo de la posición del mecanismo.

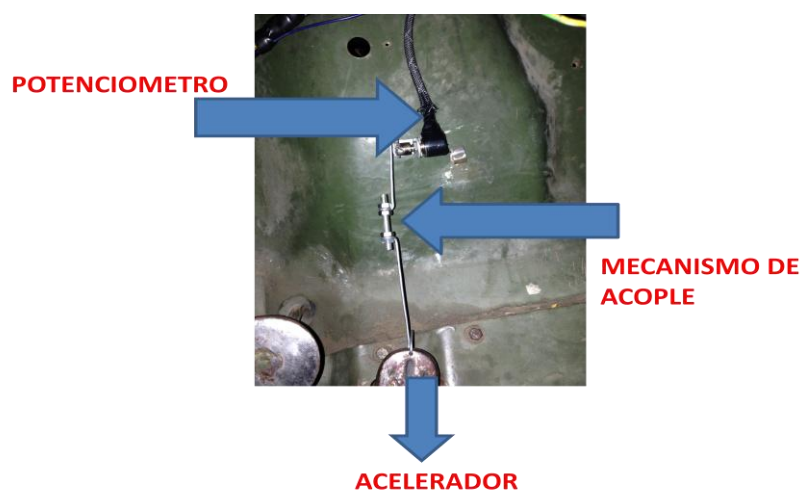


Fig. 144 Ubicación del potenciómetro en el automotor

5.2.6. Instalación de los elementos actuadores

Los elementos que actúan dentro del sistema se encuentran localizados en lugares específicos, para entender mejor se explicará la instalación de cada uno de los componentes utilizados como actuadores dentro del proyecto de aplicación.

♦ Válvulas (motor servo)

Los servomotores acopladas a la válvulas se instalaron en un lugar específico adelante del vehículo, en un espacio sobre el motor, de esta manera se podrá ensamblar directamente con el carburador, sin tener ninguna dificultad para la toma de aire necesaria para la ejecución del proyecto.



Fig. 145 Instalación de válvulas de control

Las válvulas se encuentran sujetas con pernos a la caja, y la caja esta acoplada a la carrocería por medio de abrazaderas. Para evitar el ingreso de partículas hacia el motor, esta caja se encontrará tapada con pelón, que servirá como filtro.

Para poder entregar la dosificación ideal de la mezcla aire combustible, es necesario acoplar el depurador seleccionado a la entrada del carburador, y a su vez conectarlo al ducto de salida de gas del acumulador del sistema de gasificación. El montaje se lo realizara siguiendo el siguiente esquema.

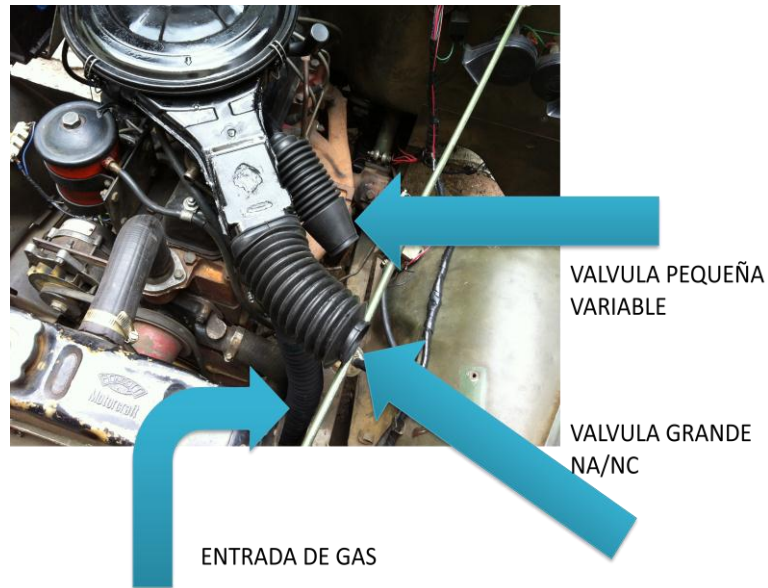


Fig. 146 Acople entradas al depurador.



Fig. 147 Acople de válvulas

♦ **Motor de succión**

El motor de succión es el que permitirá que el gas llegue con mayor velocidad hacia el acumulador, por esta razón se encuentra instalado en la parte posterior del vehículo, junto al intercambiador de calor, conectado a la salida del mismo.



Fig. 148 Instalación del motor de succión.

Por motivos de protección al motor, este se encuentra alejado del sistema interno de succión, puesto que por la humedad propia del gas, puede llegar a tener alguna avería o hasta dejar de funcionar. (Ver sección de anexos B)

♦ **Resistencia**

La resistencia ayudará al sistema de encendido del carbón para que este comience a generar el gas proporcionado por la madera. Por esta razón la resistencia está instalada dentro del gasificador entre la zona de reducción y de oxidación.



Fig. 149 Instalación de la resistencia

La conexión perteneciente a la resistencia se lo hace por medio de un inversor de corriente, ya que está diseñada para trabajar con AC y la batería del automotor produce DC.

5.2.7. Instalación del cerebro del control

El módulo electrónico, cuya función es cumplir como cerebro de control, tiene todas las protecciones necesarias, para proteger de una sobrecarga o de altas temperaturas, por esta razón se lo instaló sobre una estructura metálica junto al piloto, para que sea de fácil manipulación y control de parámetros.

5.2.8. Instalación del HMI

La interfaz hombre máquina, está situada en un lugar específico para manipulación y control, de esta manera se logra de fácil acceso la selección del sistema y el manejo de variables manipulables.

5.3. Pruebas

Para tener buenos resultados del diseño, y establecer la factibilidad de uso de un nuevo sistema de generación de combustible alternativo, es necesario realizar pruebas correspondientes tanto al funcionamiento del sistema electrónico, como de la generación del gas producido por biomasa.



Fig. 150 Salida de gas producido por biomasa.

De un total del 100% de pruebas, se tiene los siguientes resultados, refiriéndose principalmente al tipo de control, tipo de biomasa, si el gas es de buena o mala calidad y finalmente del encendido del vehículo.

- ♣ Las pruebas se las realizaron con protoboard y con el módulo de control teniendo como resultado lo siguiente;

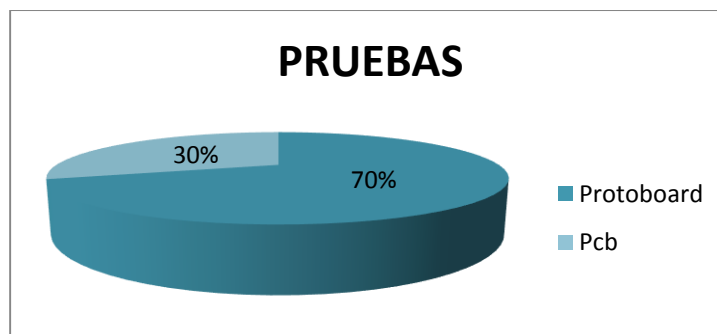


Fig. 151 Resultado de pruebas con protoboard y módulo

Como se puede observar en el gráfico se tiene un funcionamiento del 70% con protoboard y un 30% con el módulo, en todas las pruebas se obtuvieron los resultados esperados, en cuanto se refiere al funcionamiento bajo parámetros establecidos.

- ♣ En cuanto se refiere a los resultados del tipo de biomasa se obtiene como resultado un 60% de uso de biomasa seca y un 40% de biomasa húmeda.

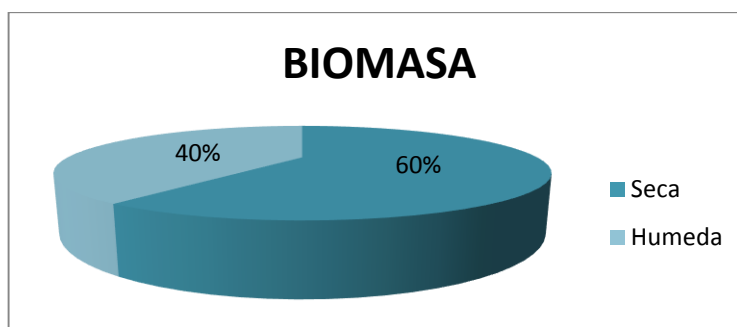


Fig. 152 Resultado de tipo de biomasa.

- Ahora hablando del tipo de gas que se produjo durante el proceso, en un 80% se obtuvo un buen resultado, teniendo un gas de buena calidad, el cual se enciende a la salida del proceso de gasificación.

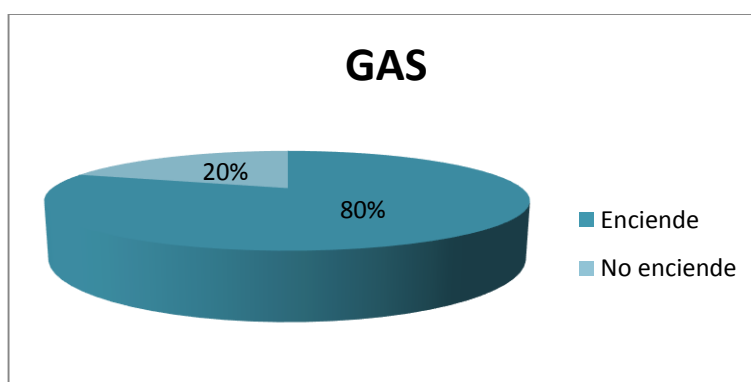


Fig. 153 Resultado de calidad de gas

- Una vez que se ha probado la calidad del gas es necesaria la comprobación del encendido del automotor, se tiene como resultado un 50% favorable y de igualmente un 50% desfavorable.

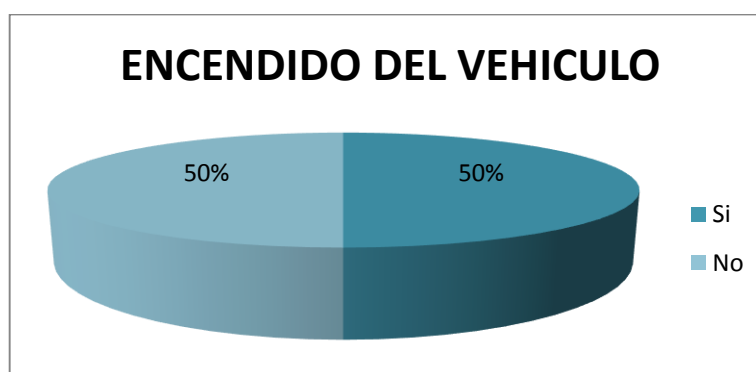


Fig. 154 Resultado de encendido del vehículo

Estos resultados se obtuvieron, debido a la calidad de biomasa que se introdujo al principio del proceso.

Finalmente se tiene una evaluación de las temperaturas dentro del reactor, dando como resultado las siguientes gráficas

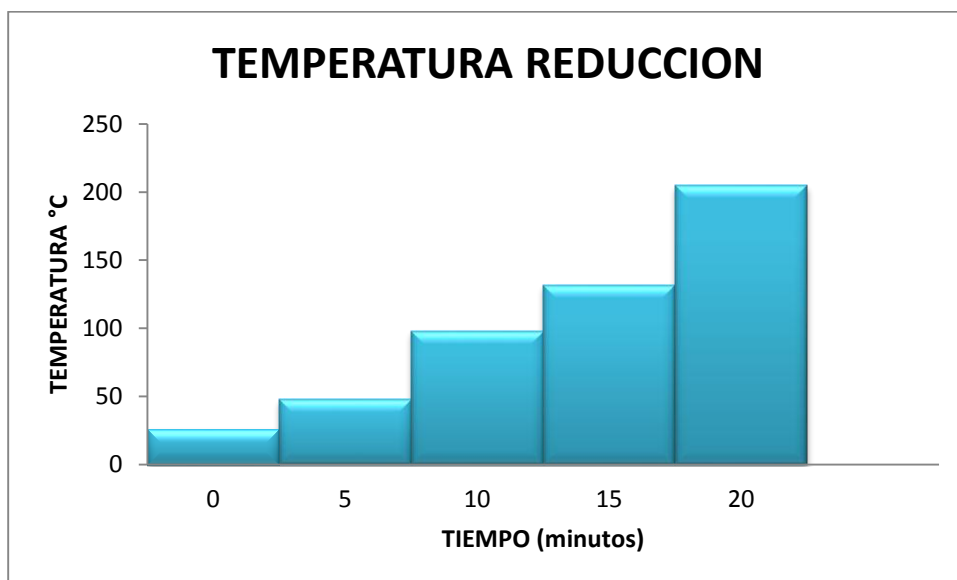


Fig. 155 Resultado de temperaturas en la sección de reducción

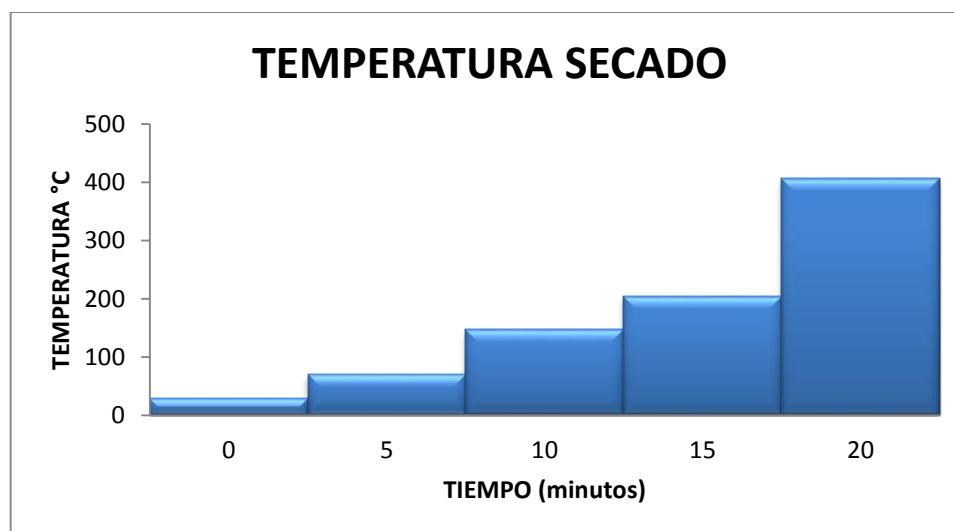


Fig. 156 Resultado de temperaturas en la sección de secado

Después de realizar una serie de pruebas, y gracias al diseño de gasificador que posteriormente se construyó, se puede determinar lo siguiente:

Con los datos experimentales de la Tabla 11 se conoce el volumen de combustible consumido por el motor en distintos intervalos de tiempo, que es de 0.000024 m³ ajustando con los datos de la Tabla 12 para una velocidad del motor de 2400 r.p.m. el tiempo de consumo de este volumen es de 16.45 segundos, a un valor de combustible de calidad regular de \$1.50, se determinará lo siguiente:

$$Q_{comb} = \frac{V_{prueba}}{T} \times 3600 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Ecuación 27 Determinación caudal de consumo

$$Q_{comb} = \frac{0.000024}{16.45} \times 3600 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_{comb} = 0.00525258 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_{comb} = 0.00525258 \left[\frac{m^3}{h} \right] \approx 1,3875 \left[\frac{gal}{h} \right]$$

Lo que indica que en una hora el motor consume 1,3875 galones, que multiplicado por el valor comercial del combustible regular da un total de \$2.08.

Para realizar la comparación de factibilidad es necesario determinar el consumo de combustible alternativo del motor para este mismo intervalo de tiempo, por lo tanto se tiene:

Con los mismos datos de la Tabla 13 se conoce que la exigencia de gas es de 49,7752553Kg/h y un caudal de 45m³/h.

Que ajuntándose a la gráfica 69 se conoce que el volumen generado por 1Kg de madera estándar es de 2.2m³ se tiene:

$$Masa\ de\ madera = \frac{45}{2.2} \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

$$\text{Masa de madera} = 20.45 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]$$

Este valor indica que para una hora de trabajo a un régimen de revoluciones altas, un gasificador necesita 20.45Kg de leña, conociendo que un kilogramo de madera se lo adquiere en el mercado con un costo de \$0.22, se tiene que para la producción de la cantidad necesaria de gas se debe invertir \$4.5.

5.3.1. Control del sistema de gasificación bajo los parámetros de diseño

Para realizar las pruebas del gasificador, primero se verifico que las partes tanto mecánicas como electrónicas funcionen a la perfección, como la palabra lo dice por motivos de pruebas estas se las hicieron principalmente bajo el parámetro electrónico, primeramente usando un protoboard, con la finalidad de poder corregir algún error si se presentase, posteriormente al verificar que todo esté perfectamente funcionando se realizaron las pruebas ya con el circuito impreso.

Realizando un análisis de resultados en cuanto se refiere a componentes físicos se tiene lo siguiente:

- ◆ En el total de pruebas, se obtuvo como resultado un 80% en el encendido de gas a la salida del acumulador.
- ◆ Los relés realizan su cambio de estado en el momento ideal, sin ningún retraso
- ◆ Tanto actuadores como sensores trabajan bajo los parámetros de diseño establecidos.

Para tener una mejor referencia de los parámetros que se controlan se puede observar una hoja de calificación que se realizó para cada prueba, donde el principal objetivo es el encendido del automotor con ayuda de los sistemas que se ejecutaron. (Ver sección de anexos B).

5.3.2. Verificación del sistema de control al monitoreo de variables

El sistema presenta dos opciones de funcionamiento, mismas que trabajan bajo las especificaciones de diseño, las variables más representativas son la temperatura dentro de las zonas tanto de oxidación como de pirolisis, llegando a un promedio aproximado de 400°C y 350°C respectivamente. Mientras que las otras variables indican, la una las RPM que el motor tiene, y la segunda la cantidad de CO que existe en el acumulador para el apagado de la resistencia térmica.

5.3.3. Verificación de los actuadores bajo el mando del control

El mando de control se lo verifica con las RPM, puesto que esto depende directamente de la variación del potenciómetro conectado en el acelerador del vehículo, este control lo que permite es la apertura o cierre de la válvula electromecánica, esto se da gracias a la señal que recibe el servomotor, en cuanto se refiere a la válvula variable, mientras que la otra depende específicamente de la selección que se realice al principio de la aplicación. Refiriéndose a un funcionamiento de gasolina o de biomasa que según la aplicación en la que se quiera trabajar, el control mandará la señal al actuador para que esta se encuentre abierta o cerrada según sea el caso.

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

Debido a la naturaleza del proyecto se presenta un presupuesto a groso modo de cual se puede tomar referencia del costo máximo a utilizarse en cada componente.

6.1. Costos directos

6.1.1. Equipo mecánico

MATERIAL	COSTO (\$)
Tanques de almacenamiento	150
Estructuras	40
Tubos	40
Acoples	80
Carburador	30
Pernos	20
Abrazaderas	30
Pintura especializada para calor	40
Tocho de aluminio	30
Succionador	30
Radiador	50
Costo total	540

Tabla 28 Costos material equipo mecánico

6.1.2. Equipo electrónico

MATERIAL	COSTO (\$)
Pantalla GLCD y touch (2)	120
Resistencia térmica	80
Servomotores	30
Sensores de temperatura (x4)	40
Sensor de CO	15
Potenciómetro lineal	30
Relés 30A 12VDC (4)	20
Microcontrolador	13
Motor 12VDC	20
Componentes electrónicos	200
Caja de proyecto	20
Cable UTP flexible	20
Spaguetti térmico	3
Cable gemelo	12
Protección para cables	15
Cable de batería	5
Ventiladores	20
Transformadores	30
Inversor AC/DC	100
Costo total	673

Tabla 29 Costos material equipo electrónico

6.1.3. Construcción

PROCESO	COSTO (\$)
Soldadura	150
Doblado de tubos	30
Placa electrónica PCB	100
Bases	50
Maquinado válvulas	100
Base de módulo	30
Costo total	460

Tabla 30 Costos procesos de construcción

6.2. Costos indirectos

6.2.1. Arreglo del vehículo

MATERIAL	COSTO (\$)
Bomba de agua	130
Carburador	40
Alternador	50
Baterías	25
Frenos	30
Bujías	20
Aceite de motor	40
Aceite de caja	20
Filtro de aire	5
Asientos	80
Carpa	80
Pernos	30
Bomba de gasolina	30
Filtro de gasolina	15
Regulador de carga	30
Costo total	625

Tabla 31 Costos arreglos del vehículo

6.2.2. Prototipo

MATERIAL	COSTO (\$)
Caldera (gasficador)	200
Filtro	80
Mangueras	75
Abrazaderas	10
Costo total	365

Tabla 32 Costos prototipo

6.2.3. Suministros

MATERIAL	COSTO (\$)
Madera cortada	50
Carbón	5
Cascarillas de arroz	10
Viruta	10
Gasolina	80
Papel	10
Impresiones	100
Empastados	30
Costo total	295

Tabla 33 Costos suministros

6.3. Inversión total

MATERIAL	COSTO (\$)
Equipo mecánico	540
Equipo electrónico	673
Construcción	460
Arreglo de vehículo	625
Prototipo	365
Suministros	295
Costo total	2953

Tabla 34 Costos suministros

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de recorrer un largo camino en el diseño y la construcción del sistema de gasificación, y realizadas todas las modificaciones, pruebas y ensayos pertinentes para determinar las condiciones de falla se puede constatar los resultados obtenidos en la realización del presente proyecto.

Las conclusiones obtenidas y las recomendaciones realizadas se detallan a continuación para constancia de las posibles mejoras a ser ejecutadas para posteriores desarrollos del prototipo del gasificador, diseñado y construido en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Escuela Politécnica del Ejército.

7.1. Conclusiones

- Se diseñó y construyó todos y cada uno de los componentes esenciales de un sistema de generación de combustible alternativo, cuyo objeto es generar biogás para suministrar al motor del vehículo de pruebas, junto con el diseño, elección e implementación de los respectivos elementos para su control electrónico y monitoreo, para su aplicación en un Jeep Willys 1974.
- Se diseñó los sistemas mecánicos para generación, suministro y dosificación del gas a producirse, conformados por un bio-reactor, un conjunto de depuración de filtro ciclónico y filtro de partículas, un

enfriador, un elemento de bombeo de gas, ductos de transporte y un recipiente de almacenamiento.

- ◆ Se diseñó un sistema electrónico, cuyo componente principal es un microcontrolador, que hace la función de cerebro del vehículo automotor, a través del cual se realiza la verificación de variables, sensores y actuadores para controlar el funcionamiento eficaz del sistema de gasificación y el motor.
- ◆ Se diseñó y seleccionó las partes, piezas, componentes y elementos del sistema que se construyó para realizar una selección y dosificación de combustible óptimo para el encendido del vehículo Jeep Willys.
- ◆ Se implementó los sistemas diseñados en el vehículo propuesto, para realizar las pruebas y verificar que las condiciones de diseño se cumplan, de esta manera se llega a la conclusión que para el motor que el Jeep tiene, no es conveniente usar un sistema de gasificación, puesto que primero no abarca todos los parámetros de funcionamiento y los costos son muy elevados, mientras que si el sistema se lo implementa en vehículos con motores de menor cilindraje a 3000cc, su funcionamiento es óptimo y resulta mucho más conveniente que el uso de combustible regular.
- ◆ Los dos tipos de biomasa estudiados son bastante diferentes entre sí; sin embargo, se destaca su potencial energético y viabilidad técnica para su aprovechamiento mediante gasificación en lecho móvil. Por otro lado, debe tenerse cuidado con las cenizas de los lodos, pues suponen gran cantidad de residuo y debe evitarse que alcancen la

temperatura de fusión, ya que en la experimentación se observaron pequeñas explosiones dentro del reactor.

7.2. Recomendaciones

- ◆ Se recomienda llegar a un cierre hermético a lo largo del sistema, puesto que la mínima entrada de aire afecta la producción de gas de buena calidad, mismo que permitirá el encendido del motor de combustión interna.
- ◆ En cuanto se refiere a la parte electrónica se recomienda llevar un código de colores, para de esta manera poder encontrar fácilmente los puntos de conexión, esto se puede ver en el código de referencia de conexiones del arnés principal que va conectado en el módulo.
- ◆ Para tener un buen resultado en el reactor, es conveniente que los trozos de biomasa (madera) que se van a consumir, tengan medidas apropiadas, estas no pueden ser muy grandes, ya que obstruyen el consumo regular, y no se tiene un gas adecuado dentro del tiempo de establecimiento de funcionamiento.
- ◆ En caso de tener problemas con el encendido del motor del Jeep Willys, cuando este se encuentra en modo gas, se recomienda realizar el cambio de estado a modo gasolina, para realizar el encendido y evitar daños internos en el motor de combustión interna.
- ◆ Para el encendido del módulo electrónico, se debe tener mucho cuidado al momento de conectar, tanto las baterías como el inversor, ya que se puede generar un cortocircuito, mismo que podrá ocasionar daños irreparables en los componentes eléctricos y electrónicos.

- ♦ Dentro del sistema eléctrico y electrónico es necesario tener todas las protecciones, en este caso del diseño tanto del módulo electrónico que cumple la función de cerebro del vehículo como de la parte eléctrica, correspondiente a las luces, se tiene fusibles aislados para cada sección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMT. (12 de Septiembre de 2013). Obtenido de Apax Material Technology:
<http://www.amtouch.com.tw/products/>
2. Aquiles Gay, M. A. (25 de Agosto de 2013). Obtenido de Tecneweb.
Retrieved:
http://www.tecneweb.com.ar/Apuntes/tercero_9/Sistemadecontrol.htm
3. Barrio M., F. M. (2001). *A small-scale stratified downdraft gasifier coupled to a gas engine for combined heat and power production*. Blackwell Science Ltda.
4. Castro, S. G. (2001). En S. G. Castro, *Teoría de Control Diseño electrónico*. Barcelona: Grup-Artiplan-Artympres S.A.
5. FAO. (1993). *El Gas de Madera como Combustible para Motores*. Valencia-España: FAO Forestry Paper.
6. Fonseca, N. (2002). Fundamentos de la gasificación termoquímica. *Trabajo Final curso de doctorado Fundamentos de la combustión*. España.
7. Kinderland, C. (2002). *Autoinflamación de mezclas de aire y combustible*. Valencia-España: UPM España.
8. Kuo, B. C. (1996). En B. C. Kuo, *Sistemas de control autom[ático]*. México: Edimsa S.A.
9. Maloney, T. J. (1983). En T. J. Maloney, *Electrónica Industrial dispositivos y sistemas*. México: Tipográfica Barsa S.A.
10. OLADE. (1987). *MANUAL DE GASIFICACION*. QUITO-ECUADOR: UNESCO.

11. Philips, C. L. (1995). En C. L. Philips, *Digital Control System*. México: Prentice-Hall-Hispanoamericana.
12. Rashid, M. H. (1995). En M. H. Rashid, *Electrónica de Potencia Circuitos, dispositivos y aplicaciones*. México: Prentice Hall Hispanoamericana.
13. Solé, A. C. (1997). *Instrumentación Industrial*. En A. C. Solé. España: Marcombo.
14. Thomas B. Reed, A. D. (1988). *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems*. COLORADO: The Biomass Energy Foundation Press.

ANEXOS

ANEXOS