

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO PARA MUESTRAS METALGRÁFICAS Y FRACTOGRÁFICAS CON APLICACIÓN A UN BANCO DE PRUEBAS Y LIMPIEZA DE INYECTORES A GASOLINA PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA ESPE “

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

ORTIZ VEGA NELSON FABIÁN

VINUEZA VALENCIA ROLANDO XAVIER

DIRECTOR: ING. ANDRADE VÍCTOR

CODIRECTOR: ING. SORIA ERNESTO

Sangolquí, 2005-06

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO PARA MUESTRAS METALOGRAFÍCAS Y FRACTOGRAFÍCAS CON APLICACIÓN A UN BANCO DE PRUEBAS Y LIMPIEZA DE INYECTORES A GASOLINA PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA ESPE “ fue realizado en su totalidad por Ortiz Vega Nelson Fabián y Vinueza Valencia Rolando Xavier, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Andrade Víctor

DIRECTOR

Ing. Soria Ernesto

CODIRECTOR

Sangolquí, 2005-06

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO PARA MUESTRAS METALOGRÁFICAS Y FRACTOGRÁFICAS CON APLICACIÓN A UN BANCO DE PRUEBAS Y LIMPIEZA DE INYECTORES A GASOLINA PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA ESPE “

ELABORADO POR:

Sr. N. Fabián Ortiz Vega

Sr. Rolando X. Vinueza V.

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Hugo Ruiz

MAYO. C.B.

DECANO

Sangolquí, 2005-06

DEDICATORIA

A mi Madre, que es y será, la estructura fundamental en mi vida.
A mi Padre, que supo coger la posta cuando más lo necesitaba.
A mis hermanos que siempre me brindaron un buen consejo.
A mi Tía, que ella sabe cuanto la necesite,
A mi hijo, que espero que siga mi ejemplo,
y a aquella persona escondida a la que nunca
se la ve y se la reconoce, mi eterna soledad.

Rolando Vinuesa

*A mi madre, luz que ha guiado mis senderos
cuando siento oscuridad, la heredera de mi eterno amor.
A mi padre, la mano siempre extendida en la que puedo confiar,
que es mi ejemplo de vida y el mejor amigo que he llegado a tener.
A mis hermanos, que me han enseñado
el camino de un buen ser humano.
A mis sobrinos, mis cinco estrellitas presentes todos los días,
que aunque tenga dos en el cielo, son el motivo de mi alegría por vivir.
A ti DF, que has caminado conmigo, compartiendo mis ternuras,
mis locuras y la esencia de nunca dejar de soñar.
A mis abuelos, que aunque ausentes siempre están dentro de mí,
Y a todos aquellos, que con su confianza me han
llevado a obtener un triunfo más en mi vida.*

N. F.O.V.

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la ESPE, por su paciencia y confianza depositada en mi persona, y a aquellas personas que me ofrecieron su fe, a las cuales les brindo mi gratitud y mi afecto.

Dios, patria y libertad.

Rolando Vinueza

A Dios, por regalarme a tantas personas que han dejado su huella durante estos años.

A mis padres, por dedicar su vida, para verme crecer y llegar siempre a la cima.

*Al Ing. José Molina, por su dedicación e investigación.
Al Lic. Washington Vallejo, por su apoyo incondicional.*

A todos quienes formaron parte de este proyecto, gracias por su ayuda, hemos alcanzado la meta.

N.F.O.V.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
RESUMEN	xxv
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Antecedentes	3
1.3. Definición del problema	3
1.4. Importancia y justificación del proyecto	4
1.5. Objetivos	5
1.6. Alcance	6
CAPÍTULO 2	
FUNDAMENTOS GENERALES DEL ULTRASONIDO Y SU APLICACIÓN AL LAVADO INDUSTRIAL	7
2.1. Introducción	7
2.1.1. Movimiento Ondulatorio	7

2.1.2. Sonido	10
2.1.2.1. Características Físicas	11
2.1.2.1.1. Frecuencia	11
2.1.2.1.2. Amplitud	12
2.1.2.1.3. Intensidad	13
2.1.2.1.4. Velocidad del Sonido	15
2.1.3. Ultrasonido	18
2.1.3.1. Piezoelectricidad	19
2.1.3.2. Formación de Cerámicas Piezoeléctricas	20
2.1.3.3. Usos	21
2.1.3.3.1. Generadores	21
2.1.3.3.2. Sensores	22
2.1.3.3.3. Actuadores	22
2.1.3.3.4. Transductores	22
2.2. Principios del Lavado Ultrasónico	24
2.2.1. Limpieza por Ultrasonidos	24
2.2.2. Principio de funcionamiento del Lavado Ultrasónico	27
2.2.2.1. Cavitación Ultrasónica	29
2.2.2.1.1. Aspectos físicos de la cavitación ultrasónica	29
2.2.2.1.2. Factores en la Cavitación	32
2.2.2.1.2.1. Presión de vapor	33
2.2.2.1.2.2. Tensión superficial	33
2.2.2.1.2.3. Viscosidad	33
2.2.2.1.2.4. Densidad	33
2.2.2.1.2.5. Temperatura	34
2.2.2.2. Desgasificación	34
2.2.2.3. Selección del tipo de agente de limpieza y la temperatura de trabajo	36
2.2.2.4. Frecuencias de trabajo. Sistema de barrido total (sweep system)	37
2.2.2.4.1. Frecuencia de trabajo	37
2.2.2.4.2. Transductores	38
2.2.2.4.3. Sistema de barrido total (sweep system)	39

2.3.	Aplicaciones del Lavado Ultrasónico	40
2.4.	Tipología de los Transductores	42
2.4.1.	Transductores de Potencia. Aplicaciones	42
2.4.1.1.	Selección de un tipo de transductor de potencia	43
2.4.2.	Materiales para la transducción ultrasónica de potencia	44
2.4.2.1.	Estructura y Tipos de transductores	44
2.4.2.1.1.	Tranductores Magnetostrictivos	45
2.4.2.1.2.	Tranductores Piezoeléctricos para limpieza	47
2.4.2.1.2.1.	Funcionamiento de un transductor piezoeléctrico	49

CAPITULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE LAVADO POR ULTRASONIDO **51**

3.1.	Circuito generador de ultrasonido	51
3.1.1.	Osciladores electrónicos retroalimentados	51
3.1.2.	Circuito Oscilador de Bloqueo (Ultrasonido)	54
3.1.2.1.	Funcionamiento del Circuito Oscilador de Bloqueo	55
3.2.	Diseño de circuitos electrónicos del ultrasonido	58
3.2.1.	Parámetros funcionales	58
3.2.2.	Requerimientos funcionales	58
3.2.3.	Sistemas de control y alimentación	59
3.2.3.1.	Circuito de alimentación de energía	59
3.2.3.2.	Circuito de regulación de voltaje	60
3.2.3.3.	Circuito de control de temperatura	61
3.2.3.4.	Circuito temporizador o timer	64
3.2.3.5.	Interfaz con el usuario por pantalla LCD	66
3.3.	Programación del Microcontrolador	67
3.3.1.	Diagrama de flujo del programa	78
3.4.	Construcción del Sistema de Ultrasonido	79
3.4.1.	Selección de Bandeja Inoxidable y de transductor piezoeléctrico	79
3.4.2.	Selección del tamaño y potencia de las niquelinas	82

3.4.3. Unión Transductor, niquelas y bandeja de acero inoxidable	83
3.4.4. Tarjetas electrónicas PCB	84
3.4.5. Estructura de soporte	88
3.4.6. Equipo Construido	89

CAPITULO 4

PREPARACIÓN METALOGRÁFICA DE MUESTRAS Y SU LIMPIEZA 91

4.1. Introducción a la Metalografía	91
4.2. Requisitos.	91
4.3. Fases de preparación.	92
4.3.1. Etapa 1. Seccionamiento	92
4.3.2. Etapa 2. Desvastado grueso	92
4.3.3. Etapa 3. Montaje	92
4.3.4. Etapa 4. Pulido Fino	93
4.3.5. Etapa 5. Pulido Grueso	93
4.3.6. Etapa 6. Pulido Final	93
4.4. Métodos de preparación.	93
4.5. Deformación de la superficie.	94
4.6. Presión	96
4.7. Cantidad de remoción	97
4.8. Tamaño abrasivo	99
4.9. Etapas de preparación.	101
4.9.1. Seccionamiento abrasivo de alta velocidad	102
4.9.1.1.1. Grano abrasivo	102
4.9.1.1.2. Adhesión	103
4.9.1.1.3. Enfriamiento	103
4.9.1.1.4. Velocidad de rueda	104
4.9.1.1.5. Desgaste de borde de rueda	104
4.9.1.2. Baja velocidad, deformación de baja velocidad, seccionamiento de precisión	105
4.9.2. Desvastado Grueso	105
4.9.3. Montaje	106

4.9.4. Desvastado Fino	106
4.9.5. Pulido grueso	107
4.9.5.1. Abrasivos	107
4.9.5.2. Medio de suspensión	108
4.9.5.3. Selección abrasiva	109
4.9.5.4. Revestimientos de pulido	109
4.9.6. Pulido Final	110
4.9.6.1. Abrasivos	112
4.9.6.2. Revestimiento de pulido	113
4.9.6.3. Vehículo de pulido	114
4.9.6.4. Humedad de la rueda de pulido	114
4.10. Manipulación	115
4.10.1. Desvastado fino	115
4.10.2. Pulido grueso y final	116
4.10.3. Presión	117
4.11. Generalidades de limpieza en muestras metalografías	117
4.11.1. Limpieza Ultrasónica	117
4.11.2. Extractor – Condensador	119
4.11.3. Secado	120
4.12. Fractografía Electrónica.	121
4.12.1. Introducción.	121
4.12.2. Contribución al análisis de fallas.	121
4.12.3. Análisis Fractográfico.	122
4.12.4. Técnicas Fractográficas.	122
4.12.5. Fractura dúctil.	124
4.12.6. Fractura por Clivaje.	126
4.12.7. Fractura Intergranular.	128
4.12.8. Fractura por Fatiga.	129
4.12.8.1. Aspectos Macroscópicos de una Superficie de Fractura por fatiga.	131
4.12.8.2. Aspectos Microscópicos de una Superficie de Fractura por Fatiga.	132
4.12.9. Efectos en un Medio Corrosivo	133

CAPITULO 5

FUNDAMENTOS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA E INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE	135
5.1. Principios de funcionamiento de Motores a Gasolina	135
5.1.1. Motor Otto de Cuatro Tiempos	135
5.1.2. Funcionamiento del Motor Otto de cuatro tiempos.	135
5.1.3. Fases del Proceso de Combustión	140
5.1.4. Gráficas de un Motor y sus partes.	142
5.2. Sistema de Alimentación por Inyección Electrónica de Combustible	144
5.2.1. Introducción	144
5.2.2. Diferencias entre carburación e inyección	144
5.2.3. Ventajas del sistema de inyección electrónica.	145
5.2.3.1. Consumo reducido	145
5.2.3.2. Mayor potencia	146
5.2.3.3. Gases de escape menos contaminantes	146
5.2.3.4. Arranque en frío y fase de calentamiento	146
5.2.4. Clasificación de los sistemas de inyección	147
5.2.4.1. Según el lugar donde inyectan	147
5.2.4.1.1. Inyección Directa	147
5.2.4.1.2. Inyección Indirecta	147
5.2.4.2. Según el número de inyectores	148
5.2.4.2.1. Inyección monopunto	148
5.2.4.2.2. Inyección multipunto	148
5.2.4.3. Según el número de inyecciones	149
5.2.4.3.1. Inyección continua	149
5.2.4.3.2. Inyección intermitente	149
5.2.4.3.2.1. Secuencial	150
5.2.4.3.2.2. Semisecuencial	150
5.2.4.3.2.3. Simultánea	150
5.2.4.4. Según las características de funcionamiento	151

5.2.4.4.1. Inyección Mecánica o K-JETRONIC	151
5.2.4.4.2. Inyección Electromecánica o KE-JETRONIC	152
5.2.4.4.3. Inyección Electrónica L-JETRONIC y sistemas asociados	153
5.2.4.4.3.1. Sistema Digijet	154
5.2.4.4.3.2. Sistema Digifant	154
5.2.4.4.3.3. Sistema Motronic	155
5.2.4.4.4. Inyección Electrónica Monopunto SPI	156
5.3. Inyectores	159
5.3.1. Definición	159
5.3.2. Tipos de Inyectores	160
5.3.3. Impurezas en los Inyectores	162
5.3.4. Evaluación del funcionamiento de los inyectores	162
5.3.5. Pruebas del funcionamiento de los inyectores	163
5.3.5.1. Proceso de Evaluación de trabajo de un inyector	165
5.3.5.1.1. Prueba de Zumbido	166
5.3.5.1.2. Forma de chorro	167
5.3.5.1.3. Presión de apertura	168
5.3.5.1.4. Prueba de fugas	169
5.3.5.1.5. Fugas internas en el inyector	169
5.3.5.1.6. Prueba de caudal	170
5.4. Limpieza de Inyectores	171
5.4.1. Limpieza con solvente - combustible con Bomba Externa	171
5.4.2. Limpieza con solvente - combustible con Presión de Aire	172
5.4.3. Limpieza de Inyectores por Ultrasonido	172
5.4.4. Evaluación de alternativas	174

CAPITULO 6

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA INYECTORES A GASOLINA

6.1. Introducción	177
6.2. Parámetros Funcionales	177

6.2.1. Sistema Generador de Pulsos Eléctricos	178
6.2.2. Sistema de Bombeo de Combustible	178
6.2.3. Sistema de Limpieza por Ultrasonido	179
6.3. Requerimientos funcionales	179
6.4. Diseño del banco de pruebas	180
6.4.1. Diseño del sistema generador de pulsos	180
6.4.2. Diseño sistema de bombeo de combustible	190
6.5. Construcción del banco de pruebas	195
6.5.1. Construcción del sistema generador de pulsos	195
6.5.2. Construcción del sistema hidráulico	196
6.5.2.1. Selección de la bomba de combustible	196
6.5.2.2. Selección del deposito de combustible	197
6.5.2.3. Selección de mangueras	197
6.5.2.4. Selección del regulador de presión	198
6.5.2.5. Selección del manómetro	198
6.5.2.6. Selección de acoples	199
6.5.2.7. Selección de probetas graduadas	199
6.5.2.8. Selección de cauchos	200
6.5.2.9. Selección de válvulas	200
6.6. Sistema de control de alimentación	201
6.7. Estructura	202
6.8. Montaje final	203

CAPITULO 7

RESULTADO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 205

7.1. Procedimiento de operación del equipo	205
7.1.1. Procedimiento previo	205
7.1.2. Prueba resistencia ohmica de las bobinas de los inyectores	206
7.1.3. Prueba de estanqueidad	206
7.1.4. Balance de inyectores	207
7.1.5. Limpieza química de inyectores	208
7.1.6. Limpieza de inyectores (ultrasonido)	209

7.2. Formato y registro de resultados	210
7.3. Resultados	210
7.3.1. Análisis de resultados	211
7.4. Resumen de análisis de resultados	220

CAPITULO 8

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA 221

8.1. Evaluación económica	221
8.1.1. Costos del proyecto	221
8.1.1.1. Ingeniería y gastos administrativos	221
8.1.1.1.1. Personal	221
8.1.1.1.2. Misceláneos	221
8.1.1.2. Costos directos	222
8.1.1.2.1. Honorarios profesionales	222
8.1.1.2.2. Renumeración a no profesionales	222
8.1.1.2.3. Renumeración a estudiantes	223
8.1.1.2.4. Adquisición de materiales y equipos	223
8.1.1.2.5. Otros	224
8.2. Evaluación financiera	225

CAPITULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 231

9.1. Conclusiones	231
9.2. Recomendaciones	233

MANUAL DEL OPERADOR 235

1. SISTEMA LIMPIEZA POR ULTRASONIDO 237

1.1. Introducción	237
1.2. Alimentación de energía y encendido principal del equipo	237
1.3. Menú de opciones	238

1.4. Determinación del tiempo de lavado	239
1.5. Determinación de la temperatura del liquido de limpieza	240
1.6. Determinación del contraste en la pantalla del interfaz (LCD)	241
1.7. Menú salir	242
1.8. Inicio proceso de lavado	242
1.9. Finalización del proceso de lavado	243
1.10. Apagado del equipo	243
2. BANCO DE PRUEBAS PARA INYECTORES A GASOLINA	244
2.1. Introducción	244
2.2. Alimentación de energía	244
2.3. Sistema de bombeo de combustible	245
2.4. Manejo del generador de pulsos	247
2.5. Resultados obtenidos	248
ANEXOS	249
ANEXO A “Piezoelectricidad”	251
ANEXO B “Microcontrolador ATMEGA8”	275
ANEXO C “Sensor de Temperatura DS1821”	299
ANEXO D “Pantalla LCD 20 x 2”	319
ANEXO E “Montaje de Muestras”	339
ANEXO F “Sistemas de Inyección Electrónica”	347
ANEXO G “Formato de Registro de Resultados”	375
ANEXO H “Presión de trabajo en sistemas de inyección según modelo de autos”	381
ANEXO I “Hoja Técnica del Transductor de 40 kHz”	389
ANEXO J “Planos y esquemas mecánicos y eléctricos del equipo”	397
REFERENCIAS	411
BIBLIOGRAFÍA	411
DIRECCIONES INTERNET	411

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 2

Tabla 2.1. Velocidad de propagación del sonido en medios líquidos y gaseosos	17
Tabla 2.2. Velocidad de propagación del sonido en diferentes medios sólidos	17
Tabla 2.3. Resumen del Proceso de Cavitación	31

CAPITULO 4

Tabla 4.1. Tamaño de partículas	100
Tabla 4.2. Esmeril	100
Tabla 4.3. Pegas de diamante (tamaño, rango, equivalencia)	100
Tabla 4.4A. Familias abrasivas más empleadas (polvos)	101
Tabla 4.4B. Familias abrasivas más empleadas (suspensión)	101

CAPITULO 5

Tabla 5.1. Cuadro comparativo alternativas de limpieza de inyectores	174
--	-----

CAPITULO 7

Tabla 7.1. Resultados obtenidos de pruebas en el banco de inyectores previa a la limpieza ultrasónica prueba 1	213
Tabla 7.2. Resultados obtenidos de pruebas en el banco de inyectores posterior a la limpieza ultrasónica prueba 1	214
Tabla 7.3. Reducción de los porcentajes de desviación de la aportación antes y después de la limpieza por ultrasonido prueba 1	215

Tabla 7.4.	Resultados obtenidos de pruebas en el banco de inyectores previo a la limpieza ultrasónica prueba 2	217
Tabla 7.5.	Resultados obtenidos de pruebas en el banco de inyectores posterior a la limpieza ultrasónica prueba 2	218
Tabla 7.6.	Reducción de los porcentajes de desviación de la aportación antes y después de la limpieza por ultrasonido prueba 2	219

CAPITULO 8

Tabla 8.1.	Descripción de gastos de personal	221
Tabla 8.2.	Descripción de gastos de misceláneos	221
Tabla 8.3.	Descripción de gastos de ingeniería y administración	222
Tabla 8.4.	Descripción de gastos de honorarios a profesionales	222
Tabla 8.5.	Descripción de gastos de remuneración a no profesionales	222
Tabla 8.6.	Descripción de gastos de remuneración a estudiantes ejecutores del proyecto	223
Tabla 8.7.	Descripción de gastos de adquisición de materiales y equipos	223
Tabla 8.8.	Descripción de otros gastos	224
Tabla 8.9.	Descripción de costos directos	224
Tabla 8.10.	Descripción de costos totales del proyecto	225
Tabla 8.11.	Descripción del financiamiento del proyecto	225
Tabla 8.12.	Flujo de fondos del proyecto durante su duración	226
Tabla 8.13.	Determinación de costos de fabricación de un equipo similar al construido	226
Tabla 8.14.	Margen de utilidad unitario estimado	227
Tabla 8.15.	Estado de resultados del proyecto	228
Tabla 8.16.	Análisis del valor actual neto (VAN)	228
Tabla 8.17.	Análisis de relación de beneficios/costos (TIR)	229
Tabla 8.18.	Análisis de la tasa interna de retorno (TIR)	229

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 2		Pág.
Fig.2.1.	Característica de una Onda	8
Fig.2.2.	Onda Estacionaria	10
Fig.2.3.	Ondas Sonoras	10
Fig.2.4.	Diferentes ondas según su frecuencia	12
Fig.2.5.	Representación amplitud de onda	13
Fig.2.6.	Intensidad fisiológica de un sonido	15
Fig.2.7.	Estructura cristalina de un material cerámico piezoeléctrico tradicional	19
Fig.2.8.	Generación de corriente eléctrica mediante un material piezoeléctrico	20
Fig.2.9.	Actuación mecánica de un material Piezoeléctrico (vibración)	20
Fig.2.10.	Esquema lavado ultrasónico	25
Fig.2.11.	Presión en una onda acústica	26
Fig.2.12.	Generación onda ultrasonido en el medio líquido	27
Fig.2.13.	Propagación de onda de ultrasonido en el medio líquido	28
Fig.2.14.	Formación de burbujas en el medio líquido (antes de la explosión)	28
Fig.2.15.	Esquema del principio de cavitación (burbujas exageradas)	30
Fig.2.16.	Ciclos de Compresión y depresión de una onda sonora	30
Fig.2.17.	Formación de cavidades y fenómenos de implosión	31
Fig.2.18.	Proceso de desgasificación	35
Fig.2.19.	Sistema de barrido total (sweep system)	39
Fig.2.20.	Paneles internos de un transductor magnetostrictivo	46
Fig.2.21.	Transductor magnetostrictivo	46
Fig.2.22.	Estructura transductor piezoeléctrico	47
Fig.2.23.	Conexión en paralelo de transductores piezoeléctricos	48
Fig.2.24.	Transductor piezoeléctrico mono y multifrecuencia	50

CAPITULO 3

Fig.3.1.	Esquema oscilador retroalimentado ideal de un solo lazo	52
Fig.3.2.	Esquema retroalimentado negativa	53
Fig.3.3.	Esquema retroalimentado positiva	54
Fig.3.4.	Diagrama circuito oscilador de bloqueo. Características	55
Fig.3.5.	Diagrama circuito de alimentación de energía	59
Fig.3.6.	Simulación circuito de alimentación de energía	60
Fig.3.7.	Diagrama circuito de regulación de voltaje	61
Fig.3.8.	Simulación circuito de regulación de voltaje	61
Fig.3.9.	Diagrama de pines del microcontrolador ATMEGA8 de ATMEL	62
Fig.3.10.	Asignación de pines del sensor digital de temperatura DS1821 de DALLAS	62
Fig.3.11.	Asignación de pines del microcontrolador para control de temperatura	63
Fig.3.12.	Circuito de encendido de niquelinas para calentar líquido	63
Fig.3.13.	Asignación de pines del microcontrolador para control de tiempo de lavado	65
Fig.3.14.	Circuito alimentación del oscilador de ultrasonido según el tiempo	65
Fig.3.15.	Circuito alimentación y control del LCD (pines del microcontrolador)	66
Fig.3.16.	Pantalla de programación del microcontrolador BASCOM SOFTWARE	67
Fig.3.17.	Esquema de la bandeja de acero inoxidable utilizada	79
Fig.3.18.	Zona de trabajo efectivo para la limpieza ultrasónica	80
Fig.3.19.	Determinación de la potencia de trabajo de la lavadora ultrasónica	80
Fig.3.20.	Cálculo de potencia eléctrica de los transductores	81
Fig.3.21.	Hoja de datos del transductor piezoeléctrico de 40 KHz	81
Fig.3.22.	Cálculo de potencia requerida de niquelinas	83
Fig.3.23.	Pantalla de diagrama electrónico general PROTEL DXP	84

Fig.3.24.	Diagrama electrónico de ultrasonido general	85
Fig.3.25.	Placa PCB de la tarjeta generadora de ultrasonido	86
Fig.3.26.	Placa PCB de la tarjeta de control y pantalla LCD	86
Fig.3.27.	Tarjeta completa generadora de ultrasonido	87
Fig.3.28.	Tarjeta de control y pantalla LCD	87
Fig.3.29.	Diagrama estructura en Autocad	88
Fig.3.30.	Diagrama 3D estructura soporte ultrasonido	88
Fig.3.31.	Planos estructura soporte ultrasonido	89
Fig.3.32.	Fotografía equipo construido Vista Frontal	90
Fig.3.33.	Fotografía equipo construido Vista Superior	90

CAPITULO 4

Fig.4.1.	Deformación por abrasión y excede el límite plástico	94
Fig.4.2.	Efectos de la abrasión por etapas	95
Fig.4.3.	La fisura y deformación inversamente proporcional a la dureza del material	96
Fig.4.4.	Presión adhesiva vs. Diámetro de partícula	97
Fig.4.5.	Punto crítico de la remoción del material	98
Fig.4.6.	Profundidad promedio de fisura vs. Incremento de tamaño de arena	98
Fig.4.7.	Deformación total de la zona vs. Incremento de tamaño de arena	99
Fig.4.8.	Escalas de tamaño abrasivo	99
Fig.4.9.	Desgaste de borde de rueda	104
Fig.4.10.	Proporción de lavantamiento vs. Baja presión	108
Fig.4.11.	Proporción de pulido vs. Máximo tamaño de partícula	108
Fig.4.12.	Deformación (fisura original)	110
Fig.4.13.	Deformación (superficie pulida)	111
Fig.4.14.	Deformación (superficie tratada con agua fuerte)	111
Fig.4.15.	Manipulación del material	115
Fig.4.16.	Pasos para girar 45o	116
Fig.4.17.	Rotación de la rueda de pulida y de la muestra	116

Fig.4.18.	Limpiador Ultrasónico	118
Fig.4.19.	Botella Ehrlenmeyer	119
Fig.4.20.	Fractura dúctil de un acero de bajo carbono	124
Fig.4.21.	Fractura dúctil a alta temperatura de un acero estructural	125
Fig.4.22.	Fractura por clivaje	126
Fig.4.23.	Superficie de cuasiclivaje de un acero martensítico templado y revenido	128
Fig.4.24.	Fractura intergranular de una muestra de titanio traccionado	128
Fig.4.25.	Superficie fracturada por un mecanismo de fatiga, bajo aumento	130
Fig.4.26.	Detalle de una superficie de fractura por fatiga	131

CAPITULO 5

Fig.5.1.	Esquema cilindro, pistones y cigüeñal	136
Fig.5.2.	Esquema motor de arranque	137
Fig.5.3.	Esquema sistema de alimentación de combustible	138
Fig.5.4.	Esquema de válvulas	138
Fig.5.5.	Esquema de árbol de levas	139
Fig.5.6.	Gráfica de fase de admisión	140
Fig.5.7.	Gráfica de fase de compresión	141
Fig.5.8.	Gráfica de fase de expansión	141
Fig.5.9.	Gráfica de fase de expulsión (escape)	142
Fig.5.10.	Fotografía motor real (corte)	142
Fig.5.11.	Esquema de partes de un motor de 4 tiempos	143
Fig.5.12.	Evolución y tipos de los sistemas de inyección	148
Fig.5.13.	Esquema de sistemas de inyección monopunto y multipunto	149
Fig.5.14.	Comparación de tipos de inyección intermitente	150
Fig.5.15.	Esquema del sistema de inyección K-Jetronic o mecánica	151
Fig.5.16.	Esquema de un sistema de inyección electro-mecánica o KE-Jetronic	152
Fig.5.17.	Elementos de un sistema de inyección electro-mecánica o KE-Jetronic	153

Fig.5.18.	Esquema de un sistema de inyección L-Jetronic	154
Fig.5.19.	Elementos de un sistema de inyección L-Jetronic	155
Fig.5.20.	Esquema de un sistema de inyección Motronic	155
Fig.5.21.	Elementos de un sistema de inyección Motronic	156
Fig.5.22.	Esquema de un sistema de inyección monopunto SPI	157
Fig.5.23.	Elementos de un sistema de inyección monopunto SPI	158
Fig.5.24.	Esquema de un inyector y sus componentes	159
Fig.5.25.	Tipos de inyectores según el punto de alimentación de combustible	161
Fig.5.26.	Ejemplo de un mal funcionamiento de inyectores	163
Fig.5.27.	Esquema sensor de oxígeno y convertidor catalítico	164
Fig.5.28.	Representación de una prueba sencilla de zumbido de un inyector	166
Fig.5.29.	Representación de formas de chorro deseables	167
Fig.5.30.	Representación de formas correcta de atomización de combustible	168
Fig.5.31.	Prueba de presión de apertura	168
Fig.5.32.	Prueba de fugas internas	170
Fig.5.33.	Prueba de caudal	171
Fig.5.34.	Resultados de limpieza ultrasónica	173
Fig.5.35.	Funcionamiento inyector antes/después de lavado ultrasónico.	174

CAPITULO 6

Fig.6.1.	Diseño del circuito generador de pulsos	180
Fig.6.2.	Cálculo frecuencia generador de pulsos	181
Fig.6.3.	Señal a la salida del 555	182
Fig.6.4.	Circuito generador de pulsos en Proteus VSM software	184
Fig.6.5.	Simulación circuito generador de pulsos en Proteus VSM software	184
Fig.6.6.	Forma onda salida del integrado 555 (R1=3K),osciloscopio Proteus VSM	185
Fig.6.7.	Forma onda salida del integrado 555 (R1=220K),osciloscopio	185

Proteus VSM

Fig.6.8.	Diseño circuito de control de encendido y tiempo de trabajo	186
Fig.6.9.	Simulación circuito de control de encendido y tiempo de trabajo	187
Fig.6.10.	Diseño de circuito final del generador de pulsos y control de tiempo y frecuencia	188
Fig.6.11.	Frecuencia de salida en la bobina de inyector (Relé R3)	188
Fig.6.12.	Simulación del circuito de pulsos y control tiempo y frecuencia	189
Fig.6.13.	Diseño de placa PCB para el generador de pulsos	189
Fig.6.14.	Esquema del diseño del sistema de bomba de combustible	190
Fig.6.15.	Sistema de bomba de combustible, acoples y mangueras	192
Fig.6.16.	Montaje de inyectores en barra porta inyectores	193
Fig.6.17.	Ajuste de inyectores entre riel de inyección y barra de grilón	193
Fig.6.18.	Esquema montaje final del banco de pruebas para inyectores a gasolina	194
Fig.6.19.	Fotografía tarjeta electrónica del generador de pulsos	195
Fig.6.20.	Fotografías bomba de combustible	196
Fig.6.21.	Fotografía deposito de combustible	197
Fig.6.22.	Fotografía mangueras utilizadas	197
Fig.6.23.	Selección del regulador de presión	198
Fig.6.24.	Fotografía manómetro	198
Fig.6.25.	Fotografía accesorios y acoples para manguera	199
Fig.6.26.	Fotografías probetas graduadas	199
Fig.6.27.	Fotografías cauchos para sello	200
Fig.6.28.	Fotografía válvulas	201
Fig.6.29.	Fotografía sistema de control	202
Fig.6.30.	Diseño estructura de soporte	203
Fig.6.31.	Fotografía estructura de soporte construida (cromada)	203
Fig.6.32.	Fotografía del montaje del banco de pruebas	204

CAPITULO 7

Fig. 7.1.	Montaje para procedimiento previo de encendido	206
Fig. 7.2.	Prueba de estanqueidad a 85 (psi)	207

Fig. 7.3.	Prueba de balance de inyectores	208
Fig. 7.4.	Proceso lavado de inyectores	209
Fig. 7.5.	Gráfica comparación aportación inyectores previo y posterior a la limpieza por ultrasonido prueba 1	214
Fig. 7.6.	Grafica comparación aportación inyectores previo y posterior a la limpieza por ultrasonido prueba 2	219

RESUMEN

El presente proyecto se diseñó y se construyó un equipo para evaluación y mantenimiento correctivo de inyectores de motores a gasolina. Este equipo consta de un banco de pruebas capaz de simular las condiciones reales de trabajo de un inyector en un motor de ciclo Otto. También se desarrolló un equipo de limpieza ultrasónica de fabricación nacional, el cual está en la capacidad de competir y superar a los equipos similares que se encuentran en el mercado nacional.

Antes de la ejecución del proyecto se realizó un estudio previo sobre la factibilidad del mismo y sobre la posibilidad de desarrollarlo para estar en capacidad de competir con los equipos que se venden en el mercado automotriz, ya que el financiamiento del mismo está a cargo de los ejecutantes.

Para la construcción del proyecto se tuvo en cuenta un criterio modular, es decir, que cada subsistema del equipo, es independiente del otro, pero deben trabajar en conjunto para obtener los resultados deseados. De esta manera se crean tres sistemas:

- a) Lavadora Ultrasónica
 - b) Sistema de Bombeo de combustible
 - c) Generador de pulsos
- } Banco de Pruebas de Inyectores

En la actualidad el proceso de Limpieza Industrial de mayor uso a nivel mundial, es el método de lavado por ultrasonido, razón por la que se ha decidido incursionar en este ámbito para realizar lavadoras ultrasónicas con las que se pueda brindar un servicio de limpieza profundo y de excelente resultados, en una infinidad de elementos: inyectores, muestras metalográficas, joyería, circuitos impresos, etc.

Esta limpieza ultrasónica en conjunto con el banco de pruebas para inyectores constituye una manera rápida, económica y sobre todo efectiva para el mantenimiento correctivo de dichos elementos.

Para la ejecución del proyecto fue necesaria la adquisición de varios componentes electrónicos que no existen en el mercado nacional, por lo que se tuvo que recurrir a la importación de los mismos. Tal es el caso del transductor piezoeléctrico tipo sanduche utilizado en la lavadora ultrasónica, el cual fue adquirido de la empresa American Piezo (www.americanpiezo.com) con sede en Arizona, EEUU.

Para el diseño de la lavadora se utilizó la tecnología del Benchmarking (tecnología de lo obvio: imitar, igualar, superar), es decir, nos basamos en un diseño de una lavadora de similares características y partiendo de este punto, igualamos su funcionalidad y principio de generación de ultrasonido, para posteriormente añadirle un valor agregado que es el control de temperatura y control digital, para superar las características del modelo en el que nos basamos.

La lavadora ultrasónica fue desarrollada mediante varios procesos de prueba y error, ya que se presenta cierta complejidad en el circuito oscilador para el ultrasonido. Una vez terminado el diseño de las placas, se procedió a la construcción del sistema, y las posteriores pruebas de funcionalidad.

Para la construcción del banco de pruebas se desarrollo un esquema sencillo capaz de simular las condiciones reales a las que un inyector está sometido en un motor de gasolina. Una vez diseñado todo el sistema se procedió a su construcción, procurando un montaje y desmontaje sencillo. El circuito generador de pulsos, es el que se encarga de la simulación de condiciones de trabajo de los inyectores.

Una vez construido todo el sistema, se realizan las pruebas de funcionalidad necesarias para garantizar un adecuado funcionamiento del conjunto desarrollado.

El proyecto será parte de los equipos de laboratorio de la ESPE, específicamente se lo utilizará en el laboratorio de Metalurgia de la FIME, con el fin de brindar una herramienta de aprendizaje capaz de presentar la realidad del proceso que se da en el sistema de inyección de un vehículo. Del mismo modo, al ser un sistema modular, la lavadora ultrasónica puede ser utilizada para otros procesos tales como limpieza de muestras metalográficas y/o fractográficas previo al análisis por microscopía electrónica.

Una vez construido todo el equipo y demostrado su correcto funcionamiento, podemos empezar a producir equipos similares para su posterior comercialización en el mercado local.

El equipo desarrollado sirve como una base para el inicio del estudio de la tecnología de ultrasonido, que tiene muchas aplicaciones en el área de Ingeniería Mecánica, tales como: limpieza, despumado, vaporización, soldadura por ultrasonido. Esperamos que el presente proyecto sirva como una referencia para estudios posteriores, que ayuden tanto al desarrollo académico como profesional, tanto de alumnos como docentes de la Escuela Politécnica del Ejército.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCION

1.1. GENERALIDADES

En la actualidad existen muchos métodos de limpieza de metales para análisis fractográfico, de los cuales el que más demanda ha tenido en el mercado nacional e internacional, es el ***mecanismo de limpieza ultrasónica***, este sistema genera un efecto conocido como cavitación, que se produce por la acción de ondas de alta frecuencia sobre un líquido que actúa como agente limpiante.

El presente proyecto a realizarse pretende diseñar y construir una lavadora ultrasónica de fabricación nacional que posea ciertas mejoras con respecto a modelos que se pueden conseguir en el mercado. Como aplicación a la ingeniería mecánica, una vez desarrollado el sistema de lavado por ultrasonido, éste formará parte de un banco de pruebas y limpieza para inyectores de motores a gasolina, que también será diseñado y construido por los ejecutantes de este proyecto, todo este sistema será implementado en el Laboratorio de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejército, y servirá para los fines que el laboratorio considere convenientes.

Lógicamente, buscando un mayor desarrollo tecnológico con la utilización de la menor inversión económica posible, se nos ha propuesto desarrollar el sistema generador del ultrasonido mediante nuestros propios recursos y conocimientos, logrando nuevas características en este circuito generador.

El objetivo fundamental de desarrollar nuestro propio sistema de ultrasonido es que se pueda fabricar en su totalidad con mano de obra nacional. Y que esté en la capacidad de competir con sistemas similares fabricados en otros países, lo que abriría la posibilidad de utilizar el sistema de limpieza ultrasónico no

solamente para la limpieza de inyectores de un motor, sino también para otras aplicaciones de limpieza, ya sea para:

- ✚ ***Muestras metalográficas a ser analizadas por microscopia.***
- ✚ Instrumental y material Odontológico y Quirúrgico
- ✚ Materiales de plástico, vidrio, porcelana, cristal
- ✚ Herramientas, instrumentos de maquinaria.
- ✚ Joyería, bisutería, cubertería, relojería.
- ✚ Electrónica, circuitos impresos.
- ✚ Óptica en general, lentes de contacto.
- ✚ Otros accesorios de automóvil: carburadores

Además de conseguir ciertas ventajas en el diseño del sistema de ultrasonido, *también estamos concientes del desarrollo del control electro-mecánico mediante microcontroladores , por lo que nos hemos propuesto implementar un control para el funcionamiento del ultrasonido* (tiempo de trabajo y temperatura del líquido de limpieza) y de ciertos elementos del banco de pruebas para inyectores a construirse, mediante la incorporación al sistema de microcontroladores con tecnología AVR , para obtener así, un funcionamiento semi-automático del equipo.

Resumiendo, el proyecto a realizarse está basado en la construcción de un sistema semi-automático de limpieza por ultrasonido para varias aplicaciones, que estará incluido en un banco de pruebas y limpieza de inyectores de motores a gasolina. Este estudio, aparte de las funciones con las que constará podrá servir como una guía para futuras aplicaciones con tecnología de ultrasonido. Además al pasar a formar parte de los equipos de los laboratorios de la ESPE, nuestro sistema podrá ser utilizado según los bienes que la FIME considere convenientes, ya sea con fines educativos o como una fuente para fomentar el estudio en sistemas de inyección electrónica.

1.2. ANTECEDENTES

A través de muchos años se han venido desarrollando muchos métodos para realizar una limpieza industrial, que reduzca los tiempos de operación y que arrojen resultados de alta calidad, es como así desde hace 15 años se ha desarrollado, el campo de la limpieza de objetos mediante el uso de la tecnología del ultrasonido aplicada al lavado industrial.

En el campo de la metalografía y de la microscopia, es conocido que previo al análisis de una muestra, ésta debe ser sometida a un proceso de preparación metalográfica, proceso en el cual está incluida la limpieza exhaustiva de dicha muestra. En la actualidad, la limpieza de muestras en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPE, para un posterior análisis por microscopio, se ha venido realizando de manera manual y con aparatos y utensilios que no garantizan un alto nivel de limpieza, de lo que se entiende que el resultado del estudio de la muestra no arrojará datos 100% confiables sobre su composición u reacción frente a agentes químicos. Esta deficiencia del proceso de limpieza es la que se pretende solucionar mediante la creación del sistema de lavado por ultrasonido.

De la misma manera en los laboratorios de la FIME, existen muchos bancos de pruebas para sistemas automotrices, pero en la actualidad no existe ninguno que sea utilizado para realizar un proceso de limpieza de inyectores de un motor a gasolina y que al mismo tiempo pueda comprobar el correcto funcionamiento de los mismos. Debido a esto no se puede dar mantenimiento al sistema de alimentación de combustible a inyección de los vehículos de estudiantes y/o profesores. El sistema a diseñarse podrá brindar y satisfacer estas necesidades.

1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el ítem anterior sobre los antecedentes del proyecto hemos analizado la realidad por la que atraviesan los laboratorios de metalurgia y de motores de

combustión interna de la FIME, éstas son las causas que nos han llevado a ejecutar este proyecto para mejorar los resultados de análisis de muestras metalográficas y también poder realizar una limpieza de los elementos fundamentales de un sistema de inyección de un vehículo.

Entonces para definir el problema a resolver podemos resumirlo en el siguiente texto: *“En el laboratorio de Metalurgia, existe la necesidad de mejorar el sistema de limpieza de muestras metalográficas para su posterior estudio y análisis de resultados. De otro lado, en el laboratorio de Motores de Combustión Interna, se necesita de un equipo para poder realizar un análisis del comportamiento de los inyectores de un vehículo, así como también que pueda brindar la posibilidad de realizar una limpieza y comprobación del correcto funcionamiento de los mismos.*

1.4. IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto se fundamenta en el desarrollo de un sistema electrónico de limpieza para muestras tanto metalográficas como fractográficas con aplicaciones en inyectores de motores a gasolina, la diversidad en el mercado actual de limpiadores por ultrasonido y las necesidades que pueden resolverse por este método nos da la pauta para efectuar un sistema poli funcional que beneficie económica y académicamente a los alumnos, y que con las innovaciones que pretendemos desarrollar se puede obtener un sistema más eficiente y económico que los que actualmente existen en el mercado nacional.

Entre las principales ventajas que se puede enumerar del desarrollo un sistema de limpieza ultrasónico son:

- ✚ Mayor rapidez en el lavado, ya sea utilizando solamente agua o agentes desengrasantes.
- ✚ Disminución en los gastos de energía, como así también en los costos de mano de obra .

- + Reducción del contacto directo del trabajo con sustancias de limpieza nocivas.
- + Aumento de la seguridad del operador al disminuir la necesidad de utilización de sustancias químicas y tóxicas en altas concentraciones o reemplazándolas por agentes limpiantes de agresividad media.
- + Posibilidad de penetrar en fisuras muy pequeñas, en cavidades y en conjuntos complejos que en su mayor parte resultan “intocables” con cualquier otro medio.
- + Obtención de un alto grado de limpieza ya sea como remoción de suciedades o acabado final de las piezas.

Debido a estas ventajas que se obtienen en este tipo de sistemas, hemos visto conveniente e importante el desarrollo de este proyecto para beneficio de la FIME y de sus estudiantes.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

- + Diseñar y construir un sistema semiautomático de limpieza por ultrasonido, que pueda brindar la posibilidad de trabajar con varios elementos tales como muestras metalográficas e inyectores de motores a gasolina, y que en dicho sistema aparte de la limpieza de inyectores se pueda realizar un análisis y mantenimiento del funcionamiento de los mismos.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos a superar son los siguientes:

- + Realizar el estudio teórico práctico del funcionamiento del Ultrasonido.

- ✚ Analizar las posibles alternativas para la correcta selección de los equipos en nuestro sistema.
- ✚ Fundamentar los principios de limpieza de los inyectores y sus métodos.
- ✚ Realizar un breve análisis sobre la preparación de muestras metalográficas.
- ✚ Diseñar el sistema para el control de la máquina. (Microcontroladores)
- ✚ Diseñar y construir el ultrasonido de acuerdo a nuestras necesidades.
- ✚ Diseñar y construir el banco de pruebas para los inyectores.
- ✚ Comprobar que el sistema funciona correctamente.
- ✚ Elaborar un manual de operación para que cualquier usuario pueda ponerlo en funcionamiento.
- ✚ Realizar pruebas y ensayos para poder calibrar el equipo y analizar los resultados.
- ✚ Elaborar una evaluación económica y financiera del proyecto

1.6. ALCANCE

El proyecto planteado servirá para beneficio técnico y práctico para la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE, con influencia directa hacia el área de Laboratorio de Metalurgia perteneciente a la institución ya mencionada. Los análisis metalográficos y fractográficos que podrán desarrollarse tendrán mejores resultados en sus ensayos.

Existe una influencia indirecta hacia los estudiantes de las futuras generaciones de la FIME, ya que el proyecto tiene una gran aplicación educativa en lo que respecta a análisis de muestras metalográficas. Del mismo modo, al crearse el banco de pruebas de inyectores, los estudiantes podrán dar mantenimiento a los sistemas de alimentación de combustible de sus vehículos y profundizar en estudios sobre las aplicaciones de la tecnología de ultrasonido en áreas concernientes a la ingeniería mecánica tales como taladrado y soldadura.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS GENERALES DEL ULTRASONIDO Y SU APLICACIÓN EN EL LAVADO INDUSTRIAL

2.1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso de la tecnología del ultrasonido ha alcanzado importantes avances en el aspecto científico experimental, al punto tal, que actualmente se considera a la tecnología ultrasónica una rama importante de la física, que tiene aplicaciones diversas y en varias disciplinas como por ejemplo la medicina, odontología, electrónica, mecánica, etc.

A continuación se explicarán los principios bajo los cuales se basa esta tecnología ultrasónica, y las causas por las cuales es necesario el uso de estas ondas de alta frecuencia para la realización de este proyecto.

2.1.1. MOVIMIENTO ONDULATORIO

Cuando se produce una propagación de energía de un lugar a otro sin transferencia de materia, mediante *ondas*, estamos hablando de un fenómeno conocido como *Movimiento Ondulatorio*. Un ejemplo práctico lo tenemos si producimos una vibración en un punto de un medio elástico, ésta se transmite a todos los puntos de este medio. Las perturbaciones que se transmiten por este medio son llamadas *ondas mecánicas*, y cuando el movimiento es uniforme, se las denomina *vibraciones armónicas*.

Cuando una partícula se mueve desde un punto extremo, hasta el otro y vuelve (pasando dos veces por la posición de equilibrio), se dice que ha hecho una oscilación o vibración completa.

Cuando no existe ninguna fuerza exterior que se aplique al medio, la amplitud de este movimiento va decreciendo progresivamente, pero a veces es posible compensar esta pérdida de amplitud con impulsos de forma que cada vibración sea idéntica a la precedente. En este caso decimos que el movimiento es periódico y se llama período (T), al tiempo que tarda en tener lugar una vibración completa. Se llama frecuencia (f) al número de oscilaciones por unidad de tiempo. Por la propia definición, el período es el inverso de la frecuencia:

$$T = 1/f \quad (\text{ec. 2.1.})$$

La frecuencia, en conjunto con la velocidad de propagación del sonido (v) está relacionada con la longitud de onda (λ), que es el espacio que recorre una onda del inicio al final de una oscilación completa.

La longitud de onda se obtiene a partir de la fórmula:

$$\text{Espacio} = \text{velocidad} \cdot \text{tiempo}. \quad (\text{ec. 2.2.})$$

Al hablar de vibraciones armónicas, se tendría que:

$$\text{Longitud de onda} = \text{velocidad de transmisión} \cdot \text{periodo} \quad (\text{ec. 2.3.})$$

De esta manera obtenemos la ecuación que relaciona v , λ , y f :

$$v = \lambda \cdot f \quad (\text{ec. 2.4.})$$

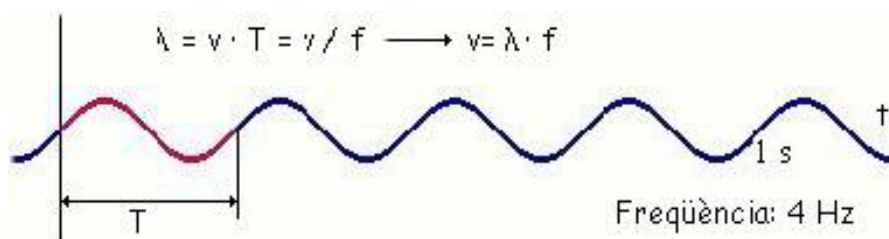


Figura 2.1 Características de una onda
<http://www.pue.udlap.mx>

En la figura anterior podemos determinar las características de este movimiento armónico, la onda tiene una frecuencia $f = 4\text{Hz}$. La función matemática que representa esta gráfica es $y(t)=\sin(2\cdot\pi\cdot 4\cdot t)$, y el período T es igual a $1/f = 1/4$.

Cuando ha transcurrido un tiempo T , los puntos situados a distancia λ del punto inicial, comienzan el movimiento vibratorio, eso también pasa con el punto perturbador, que había vuelto a su posición de equilibrio. Decimos que estos dos puntos están en *concordancia de fase*.

Según la dirección de propagación, clasificamos las ondas en dos tipos:

Ondas longitudinales:

Donde la vibración de la onda es paralela a la dirección de propagación de la propia onda. Estas ondas se deben a las sucesivas compresiones y enrarecimientos del medio. De este tipo son las ondas sonoras.

Ondas transversales:

Donde la vibración es perpendicular a la dirección de la onda. Por ejemplo, las ondas sobre la superficie del agua.

Cuando el medio de propagación está limitado (una cuerda atada a los extremos, la columna de aire dentro de un tubo), la onda, cuando llega a este límite, se refleja. Esta reflexión se combina con la perturbación inicial dando lugar a lo que se llama onda estacionaria. Estas ondas están caracterizadas por la aparición de puntos en reposo (nodos) y puntos con amplitud vibratoria máxima (vientre). En las cuerdas vibrantes y en los tubos sonoros, se producen fenómenos de esta clase, como se muestra en la figura 1.2.

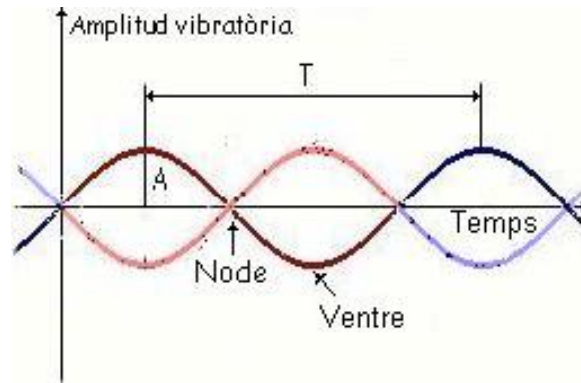


Figura 2.2. Onda estacionaria
<http://www.pue.udlap.mx>

2.1.2. SONIDO

Se entiende con el término **SONIDO** al fenómeno físico que produce una estimulación al sentido auditivo en los seres humanos, **el oído**. Esta estimulación se genera debido a que una vibración cuya frecuencia se encuentra comprendida entre unos 20 Hz a 20 KHz, llega al oído interno. Como se conoce el Hz (Hercio) es la unidad de frecuencia y corresponde a la cantidad de ciclos (vibraciones completas) producidas en un tiempo de un segundo. Las vibraciones que llegan al oído interno son transmitidas a través del aire, y a veces al hablar de sonido, se entiende a la transmisión por este medio. Sin embargo, en la actualidad se entiende que este término se pueden extender a las vibraciones de frecuencias similares que se propagan a través de medios líquidos y/o sólidos.

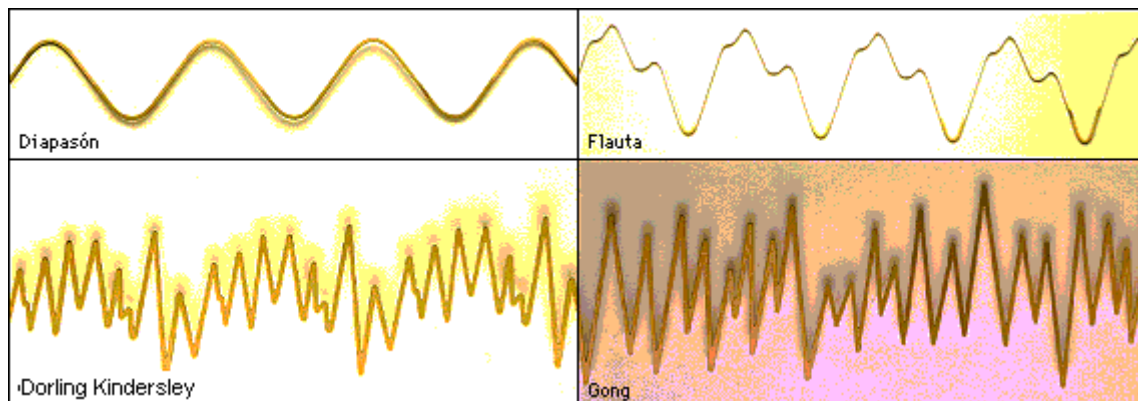


Fig. 2.3. Ondas Sonoras
http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761560639/Sonido.html

Las ondas sonoras son ondas elásticas que se propagan en distintos medios materiales como gases, líquidos y sólidos. En general, estas ondas pueden propagarse de manera transversal o longitudinal, y en cualquiera de los dos casos, ninguna parte del medio de propagación se mueve físicamente una distancia, sino son la energía y la cantidad de movimiento del movimiento ondulatorio quienes se propagan en el medio.

“Una onda de sonido es una serie de compresiones y enrarecimientos sucesivos del aire. Cada molécula individual transmite la energía a las moléculas vecinas, pero una vez que pasa la onda de sonido, las moléculas permanecen más o menos en la misma posición.”¹

2.1.2.1. Características Físicas

Todo sonido existente, tan simple como una nota musical, se lo puede describir determinando tres características necesarias para su percepción: el tono, la intensidad y el timbre; que tienen sus correspondientes físicos a saber: la frecuencia, la amplitud y la compasión armónica o forma de onda.

2.1.2.1.1. Frecuencia

La frecuencia de un movimiento ondulatorio se determina por el número de ciclos que se producen durante un tiempo determinado. La unidad de medida de la frecuencia es el Hertz (Hz) que por definición es la relación entre el número de ondas completas y el tiempo de un segundo, es decir, que si por ejemplo hablamos de una frecuencia sonora de 15000 Hz (15 KHz), por definición se nos dice que se trata de una onda en la que se producen 15000 ciclos completos durante un tiempo de un segundo.

¹ Referencia: http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761560639/Sonido.html, Sonido, Español, 26/10/04

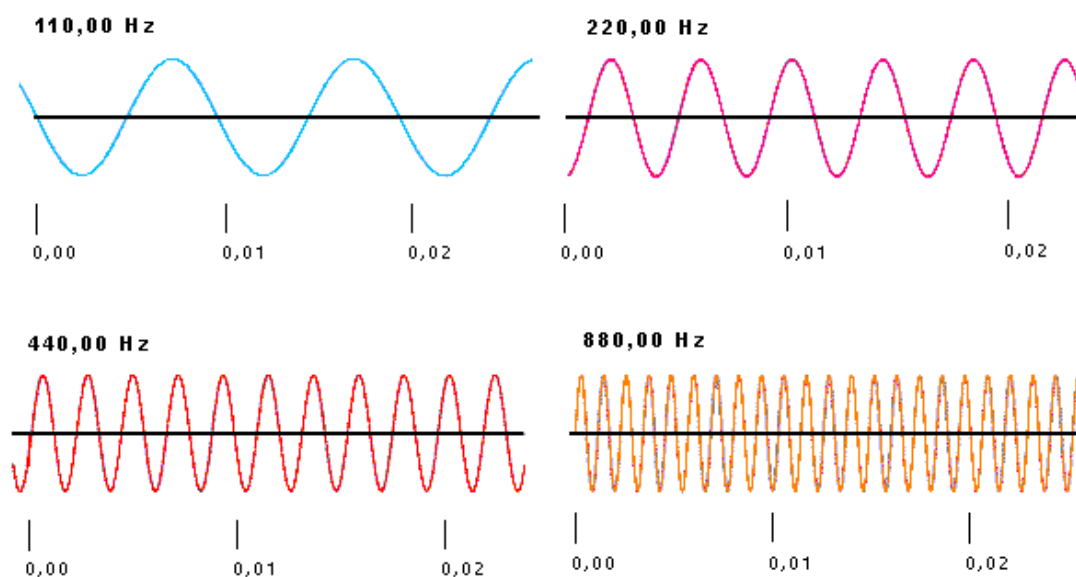


Fig. 2.4. Diferentes ondas según su frecuencia

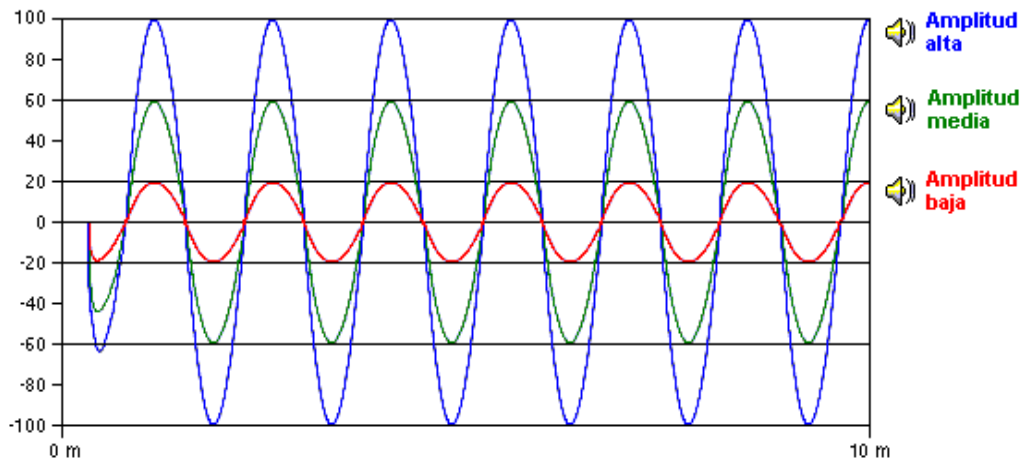
http://html.rincondelvago.com/el-sonido_1.html

Desde el punto de vista musical, la frecuencia se relaciona con la altura o tono de la nota musical a que corresponde. Cuanto más grande es la frecuencia, más alto es el tono de una nota musical. El sonido es más agudo.

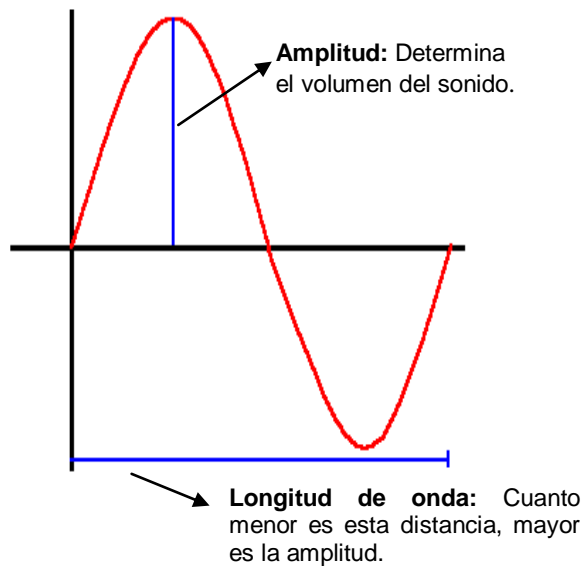
Como se ha dicho en los párrafos anteriores, los seres humanos somos sensibles a las vibraciones con frecuencia comprendida entre 16 Hz y 20,000 Hz. Por debajo de 16 Hz se llaman infrasonidos y por encima de 20KHz, ultrasonidos. El margen auditivo de las personas varía según la edad y otros factores. Los animales tienen un margen auditivo diferente, así, es muy conocido el hecho que los perros pueden sentir frecuencias mucho más altas, dentro del margen de los ultrasonidos.

2.1.2.1.2. Amplitud

Se define como **Amplitud** de una onda de sonido al grado de movimiento de las moléculas de aire en la onda, lo que está relacionado con el enrarecimiento y compresión propios de esta onda. La amplitud de onda sonora es directamente proporcional a la fuerza del sonido que se percibe, es decir, que cuanto mayor es la amplitud, las moléculas golpean el tímpano de manera más intensa y por tanto el sonido recibido es más fuerte



a) *amplitud de onda*



b) *Amplitud vs Longitud de Onda*

Fig. 2.5. Representación amplitud de onda
<http://es.encarta.msn.com/sonido.html>

Para expresar la amplitud de una onda sonora se utilizan unidades absolutas, que se obtienen midiendo la distancia de desplazamiento de las moléculas del aire, o la diferencia de presiones entre la compresión y el enrarecimiento, o la energía que la onda transporta. Un ejemplo sería la voz de una persona que presenta una potencia de sonido cercana a una cienmilésima de vatio. Pero debido a la dificultad para realizar este tipo de medidas, la intensidad de los

sonidos suele expresarse comparándolos con un sonido patrón. Por este motivo aparecen los decibelios.²

2.1.2.1.3. Intensidad

La distancia a la que un sonido puede llegar a ser escuchado depende directamente de su **intensidad**, que por definición es: “El flujo medio de energía por unidad de área perpendicular a la dirección de propagación.”³

La intensidad fisiológica o sensación sonora de un sonido se mide en decibelios (dB). Por ejemplo, el umbral de la audición está en 0 dB, la intensidad fisiológica de un susurro corresponde a unos 10 dB y el ruido de las olas en la costa a unos 40 dB. La escala de sensación sonora es logarítmica, lo que significa que un aumento de 10 dB corresponde a una intensidad 10 veces mayor: por ejemplo, el ruido de las olas en la costa es 1.000 veces más intenso que un susurro, lo que equivale a un aumento de 30 dB.

Si se tratará con ondas esféricas que se propagan desde un punto central y suponiendo que no se producen pérdidas de energía acústica debido a la viscosidad del medio, la conducción térmica u otros efectos de absorción de energía, la intensidad sería inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Por ejemplo, si hablamos de un medio totalmente homogéneo, un sonido sería nueve veces más intenso a una distancia de 100 metros que a una de 300 metros (distancia = 300 / 100 m = 3; distancia²= 9 veces).

² *Decibelio*: Decibel, décima parte del bel, unidad de medida para expresar la intensidad de un sonido.

Referencia: Diccionario Enciclopédico Ilustrado Océano Uno, Ed. Océano, 1995.

³ Referencia: http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761560639/Sonido.html, Sonido, Español, 26/10/04

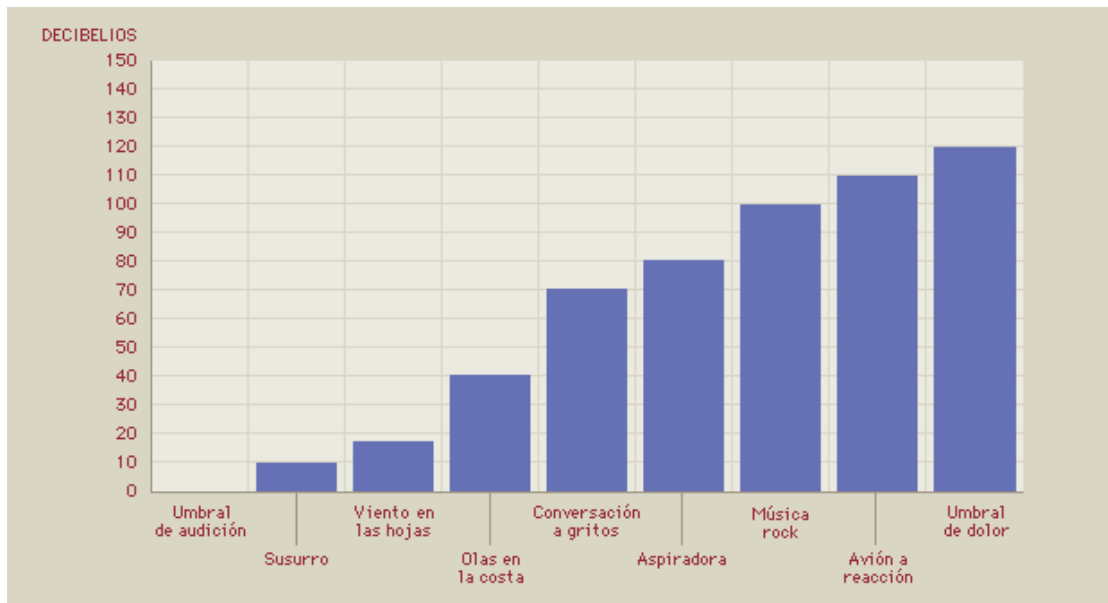


Fig. 2.6. Intensidad fisiológica de un sonido

http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761560639/Sonido.html

Considerando la propagación real del sonido en el aire atmosférico, los cambios de las propiedades físicas del mismo, como temperatura, presión o humedad, producen cambios en la propagación de las ondas de sonido, tales como amortiguación o dispersión, por lo que se establece que el cálculo de la intensidad de sonido con el inverso del cuadrado de la distancia no se puede aplicar a medidas reales y directas.

2.1.2.1.4. Velocidad del Sonido

Ya se había explicado en líneas anteriores que la frecuencia de una onda de sonido es la medida del número de ciclos completos por segundo en un determinado punto. Ahora podemos hablar de la **longitud de onda** que es la distancia existente entre dos compresiones o dos enrarecimientos sucesivos.

Se define a la **velocidad de propagación de onda sonora** como el producto entre la longitud de onda y la frecuencia de dicha onda de sonido. Esta velocidad es la misma para sonidos de cualquier frecuencia (cuando el sonido se propaga por el mismo medio a igual temperatura).

La velocidad de propagación del sonido en aire seco a una temperatura de 0° C es de 331,6 m/s. Esta velocidad como se había descrito anteriormente depende del medio de propagación, de la densidad, de la humedad y de la temperatura del mismo, por ejemplo si se aumentara la temperatura a 20° C en un aire seco, la velocidad del sonido aumentaría hasta los 344 m/s. Los cambios de presión atmosférica considerando una densidad constante prácticamente no afectan a la velocidad de propagación del sonido en el aire seco.

En muchos otros gases, la velocidad del sonido depende solamente de su densidad, si el medio de propagación está constituido por moléculas pesadas, las ondas sonoras se mueven con mayor dificultad, y el sonido avanza más despacio por dicho medio. Un ejemplo claro lo tenemos en el aire húmedo, medio por el cual el sonido avanza ligeramente más deprisa que en aire seco, porque el segundo posee un mayor número de moléculas más pesadas que el primero. En estos medios gaseosos, otra propiedad importante que afecta a la velocidad de propagación del sonido es el calor específico.

Hablando de propagación del sonido en medios líquidos y sólidos, éste se mueve a mayor velocidad que en un medio gaseoso. La densidad de un medio líquido y/o sólido tiene la misma influencia que un medio gaseoso sobre la velocidad de propagación del sonido que varía de forma inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad. Otro factor que afecta a la propagación del sonido de manera inversa en medios líquidos y sólidos, es la raíz cuadrada de la elasticidad; por ejemplo la velocidad del sonido en agua es de unos 1.500 m/s a temperaturas normales, pero aumenta en gran medida con el aumento de la temperatura. Un ejemplo en un medio sólido es en el cobre, donde se obtiene unos 3.500 m/s a temperaturas normales y decrece a medida que aumenta la temperatura (debido a la disminución de la elasticidad). En el acero, más elástico que el cobre, el sonido se propaga a unos 5.000 m/s; por lo que su desplazamiento es muy eficiente.

A continuación, se presenta una tabla, en donde se puede encontrar tabuladas las velocidades de propagación del sonido en diferentes medios, teniendo en cuenta los factores que pueden afectar al medio y a la velocidad del sonido:

Tabla 2.1. Velocidad de propagación del sonido en diferentes medios líquidos y gaseosos.

Medio	Velocidad cm/s x 10⁵	Temperatura	Densidad g/cm³ x 10⁻³	Impedancia Acústica
Aire	0.331	0	1.293	42.8
Aire	0.343	20	1.205	41.3
Anhídrido Carb.	0.259	0	1.977	51.2
Agua Potable	1.430	17	0.999	1.43
Agua de Mar	1.51	17	1.025	1.55
Monóxido Carb.	0.338	0	1.250	42.3
Hidrógeno	1.28	0	0.090.	11.5
Nitrógeno	0.334	0	1.251	41.8
Metano	0.430	0	0.717	30.8
Neón	0.435	0	0.900	39.2
Oxígeno	0.316	0	1.429	45.2
Etileno	0.317	0	1.260	39.9

Fuente: <http://www.anser.com.ar/ultrasonido.htm>

Tabla 2.2. Velocidad de propagación del sonido en diferentes medios sólidos.

Material	Velocidad longitudinal cm/s 10⁵	Velocidad transversal cm/s x 10⁵	Densidad g/cm³	Impedancia Acústica
Aluminio	5.24	6.40	2.70	1.42
Antimonio	3.40	-	6.68	2.27
Bismuto	1.79	2.18	9.80	1.75
Bronce	3.42	4.25	8.55	2.92
Cadmio	2.40	2.78	8.64	2.07
Constantan	4.30	5.24	8.88	3.82
Cobre	3.58	4.60	8.93	3.20
Plata	2.64	3.60	10.50	2.77
Oro	2.03	3.24	19.32	3.92
Hierro	5.17	5.85	7.87	4.07

Plomo	1.25	2.40	11.37	1.42
Manganeso	3.83	4.66	7.39	2.83
Níquel	4.76	5.60	8.90	4.24
Acero	5.05	6.10	7.80	3.94
Estaño	2.73	3.32	7.29	1.99
Tungsteno	4.31	5.46	19.30	8.32
Zinc	3.81	4.17	7.10	2.71

Fuente: <http://www.anser.com.ar/ultrasonido.htm>

2.1.3. ULTRASONIDO

El término **ultrasonido** se aplica para nombrar a las vibraciones de un medio material similares a las ondas sonoras, pero cuya frecuencia es demasiado elevada para su percepción por el oído humano promedio. La frecuencia límite superior del oído humano, como se mencionó anteriormente, varía entre 10 KHz y 20 KHz aproximadamente. Mientras que los límites ultrasónicos varían entre los 40 KHz y los 20 MHz.

En la actualidad el término **“Ultrasonido”** se lo aplica en áreas que relativamente son nuevas en la ingeniería de nuestro medio. Este término está relacionado con la energía acústica de alta frecuencia que se utiliza para obtener el mejoramiento y/o acabado final de un producto o proceso. Dicho mejoramiento se lo ha venido aplicando a procesos tales como:

- Limpieza
- Soldadura
- Taladrado
- Despumación
- Desgasificación

También desde hace varios años atrás, la tecnología del Ultrasonido se ha aplicado en controles, mediciones, detecciones y diagnósticos médicos.

En muchas aplicaciones de las ondas ultrasónicas, exceptuando las científicas y médicas, no existe ninguna ventaja en el empleo de dichas frecuencias elevadas. Sin embargo, para algunas de las aplicaciones científicas, es importante el empleo de las frecuencias mas elevadas disponibles. Los primeros trabajos sobre el límite superior de audición se llevaron a cabo con generadores ultrasónicos en forma de silbatos, que se habían desarrollado claramente, a partir de tubos de órganos musicales. El desarrollo de los modernos emisores y receptores de ultrasonido, al igual que toda la tecnología actual, proviene principalmente del aprovechamiento de la piezoelectricidad secundada por técnicas electrónicas modernas.

2.1.3.1. Piezoelectricidad

Se denomina **piezoelectricidad** a la capacidad que poseen determinados minerales para producir corrientes eléctricas cuando se les aplica presión. Los materiales piezoeléctricos manifiestan fenómenos eléctricos y mecánicos reversibles, es decir, si se aplica una carga mecánica a las caras de un cristal, se generan cargas eléctricas en ellas; por el contrario, si se aplican cargas eléctricas, entonces se produce una deformación de las caras del cristal. ⁴

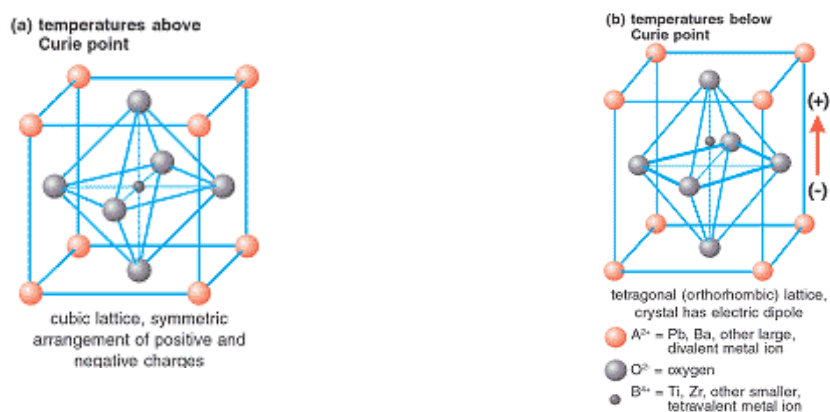


Fig. 2.7. Estructura Cristalina de un material cerámico piezoeléctrico tradicional

<http://www.americanpiezo.com>

⁴ PIEZOELECTRICIDAD: Mas información ver Anexos A “Piezoelectricidad”. Referencia: <http://www.americanpiezo.com>

Determinados minerales, tienen propiedades de generar corrientes eléctricas mediante presión. Un mineral que posee propiedades piezoeléctricas es el cuarzo (también la turmalina, pero es menos utilizada); tiene aplicación en la construcción de aparatos de encendido electrónico, reguladores de la frecuencia de los aparatos de radio, relojes de cuarzo, transductores de ultrasonido, etc. Su descubrimiento en el año de 1880 por los hermanos Curie, dio inicio a la carrera en la investigación ultrasónica basada en la piezoelectricidad, sin embargo su primera aplicación práctica no fue si no hasta la primera guerra mundial en 1914, para la detección de submarinos enemigos.

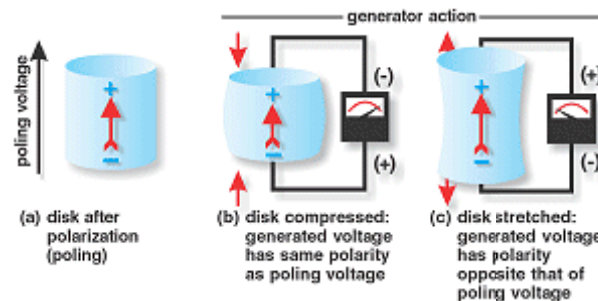


Fig. 2.8. Generación de corriente eléctrica mediante un material piezoeléctrico
<http://www.americanpiezo.com>

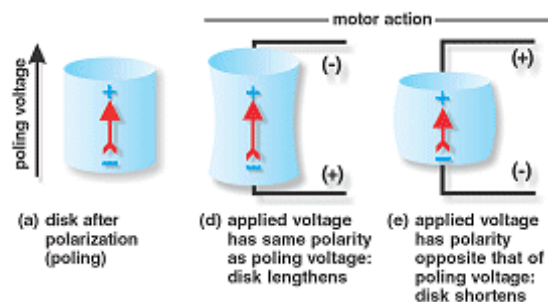


Fig. 2.9. Actuación mecánica de un material piezoeléctrico (Vibración)
<http://www.americanpiezo.com>

2.1.3.2. Formación de Cerámicas Piezoeléctricas.

En la fabricación de las cerámicas se necesita de una formulación, una dosificación y una mezcla de diferentes elementos.

Se parte de un tipo especial de arena que se comprime en unos moldes específicos que reproducen la forma final. Una larga exposición en un horno a alta temperatura provoca la cristalización.

Se obtiene el aspecto normal de la cerámica. A continuación se realiza una serie de trabajos mecánicos como la rectificación de las superficies planas y su metalización.

La última fase corresponde al proceso de polarización: se obtiene aplicando un potencial eléctrico constante de algunos cientos de voltios a los electrodos (caras planas metalizadas) de la cerámica, mientras que esta última es sumergida en un baño de aceite diatérmico a una temperatura de algunos cientos de grados centígrados.

Finalmente, se deja enfriar la cerámica manteniendo siempre la tensión. En este momento, la cerámica está polarizada.

2.1.3.3. Usos

Los sistemas piezoeléctricos pueden desarrollarse para usos en los cuales cualquier tipo de transductor electromecánico pueda utilizarse, sin embargo debe tenerse en cuenta factores como el tamaño, el peso y el costo del sistema. En la actualidad se ha clasificado los dispositivos de cerámica piezoeléctrica en cuatro categorías generales: *generadores*, *sensores*, *actuadores* y *transductores*.

2.1.3.3.1. Generadores

Los elementos de cerámica piezoeléctrica son capaces de generar un voltaje suficiente como para producir el encendido (chispa) a través de un boquete de un electrodo, y se los puede utilizar como encendedores en alumbradores de combustible, estufas del gas, el equipo de soldadura, y otros aparatos.

La construcción de un sistema de ignición piezoeléctrico es sencillo y pequeño en poseen algunas ventajas en comparación con los sistemas alternativos de

imanes permanentes o los transformadores y los condensadores de alto voltaje.

Al igual que cualquier otro tipo de generador, la energía eléctrica generada por un elemento piezoeléctrico puede ser almacenada. La misma técnica que se utiliza para la construcción de condensadores de múltiples capas es utilizada para fabricar generadores piezoeléctricos de múltiples capas. Tales generadores son baterías de estado sólido excelentes para los circuitos electrónicos.

2.1.3.3.2. Sensores

Un sensor convierte un parámetro físico, tal como aceleración o presión, en una señal eléctrica. En algunos sensores el parámetro físico actúa directamente en el elemento piezoeléctrico; en otros dispositivos una señal acústica establece vibraciones en el elemento y las vibraciones, alternadamente, se convierten en una señal eléctrica. A menudo, el sistema proporciona una respuesta visual, audible, o física a la entrada del sensor. Por ejemplo, los seguros de asiento de un del automóvil se traban en respuesta a una desaceleración rápida.

2.1.3.3.3. Actuadores

Un actuador piezoeléctrico convierte una señal eléctrica en una dislocación física controlada, para ajustar las herramientas que trabajan en máquina de precisión, las lentes o los espejos. Los actuadores piezoeléctricos también se utilizan para controlar las válvulas hidráulicas, las bombas del pequeño volumen y en otros usos.

2.1.3.3.4. Transductores

Los transductores piezoeléctricos convierten energía eléctrica en la energía mecánica vibratoria, a menudo sonido o el ultrasonido, que se utiliza para realizar una tarea.

Los transductores piezoeléctricos que generan sonidos audibles producen ventajas significativas en comparación a los dispositivos electromagnéticos alternativos, los primeros son compactos, simples, altamente confiables, y con una mínima energía se puede producir un alto nivel de sonido. Estas características se emparejan idealmente a las necesidades de un equipo que trabaja con baterías.

Debido a que el efecto piezoeléctrico es reversible, un transductor puede generar una señal de ultrasonido a partir de energía eléctrica y también puede recibir una señal entrante de ultrasonido y convertirla en una señal eléctrica. Algunos dispositivos diseñados para medir distancias, caudales, o los niveles fluidos incorporan un solo transductor piezoeléctrico en la señal que envía y que recibe, otros diseños incorporan dos transductores y separan estos papeles de emisor - receptor.

Los transductores piezoeléctricos también se utilizan para generar las vibraciones ultrasónicas para la limpieza, los líquidos que atomizan, la cerámica que perfora o que muele u otros materiales difíciles, plásticos que sueldan con autógena, diagnóstico médico, o para otros propósitos.

2.2. PRINCIPIOS DEL LAVADO ULTRASÓNICO

Entre las actuales alternativas de limpieza de objetos (piezas mecánicas, instrumentos, circuitos, etc.), el **lavado ultrasónico** es un medio seguro, moderno y eficiente, para conseguir una limpieza profunda garantizada en un tiempo menor que cualquier otro sistema de limpieza (cepillado, detergentes, abrasivos, etc.). Sus ventajas principales radican en una perfecta limpieza de los objetos, aún con las impurezas más tenaces y dispuestas en cavidades de difícil acceso manual, así como también se elimina el del riesgo de accidentes, lastimaduras y contaminación por agentes limpiadores agresivos.

2.2.1. LIMPIEZA POR ULTRASONIDOS

Por definición, sabemos que limpiar un objeto o elemento consiste en quitar de su superficie cuerpos extraños que no son parte de ésta. Este proceso de limpieza, por lo general se la realiza mediante una combinación de una acción química, agentes detergentes, y una acción mecánica que puede ser manual o automática (ej: cepillado, lijado, frotación)

La acción mecánica necesaria para el proceso de limpieza puede ser producida mediante vibraciones u ondas acústicas de fuerte intensidad, que actúan directamente sobre el líquido limpiador, generando así un proceso de limpieza bastante energético, eficiente y eficaz. El elemento encargado de transformar la energía eléctrica entrante en energía sonora (vibratoria) que se propaga sobre un medio elástico (ej.: el aire), es un **transductor acústico electrónico**, parecido a un altavoz. En la actualidad, existe otro tipo de transductores ultrasónicos que son utilizados para propagar la energía sonora de alta energía a través de medios líquidos, y que trabajan con frecuencias superiores al límite auditivo del hombre.

En el siguiente esquema, podemos analizar el hecho de que una onda acústica ultrasonora produzca un efecto de limpieza (lavado) en una bandeja o cuba. Se presenta un recipiente de paredes metálicas, que contiene el líquido de

limpieza, y debajo de dicho recipiente se encuentra adherido el elemento transductor electromecánico, que trabajará transmitiendo una potencia acústica, a una frecuencia determinada, al líquido a través del recipiente.

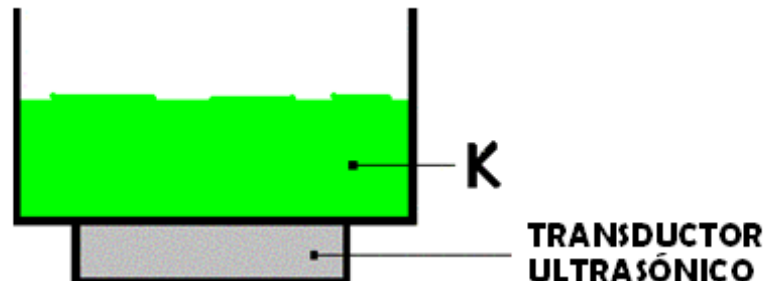


Fig. 2.10. Esquema lavado ultrasónico
<http://www.fisa.com/es/Technology.htm>

La velocidad de propagación de una onda sonora en un medio líquido, es de aproximadamente 1.500 metros por segundo en el agua.

Este fenómeno de propagación de la onda sonora produce una vibración de las moléculas del medio líquido creándose unas variaciones de presión en éstas, que a su vez influyen en otros desplazamientos de las moléculas del medio y así sucesivamente.

Al considerar que sucede exactamente en un punto específico dentro de la cuba (medio líquido), se podrá notar que existe una vibración de las moléculas con la misma frecuencia a la cual el transductor ultrasónico se encuentra vibrando, así como también existe una oscilación del valor instantáneo de la presión a la frecuencia determinada por el transductor.

Al analizar el valor medio de la presión podemos decir que es el mismo valor que se tendría en el caso de no existir la onda sonora, entonces estamos hablando de la suma de la presión atmosférica y la presión correspondiente al volumen de agua en el punto de análisis. Pero al hablar de un valor instantáneo de presión estamos diciendo que en el punto se experimentará un valor de presión que oscilará entre un mínimo y un máximo.

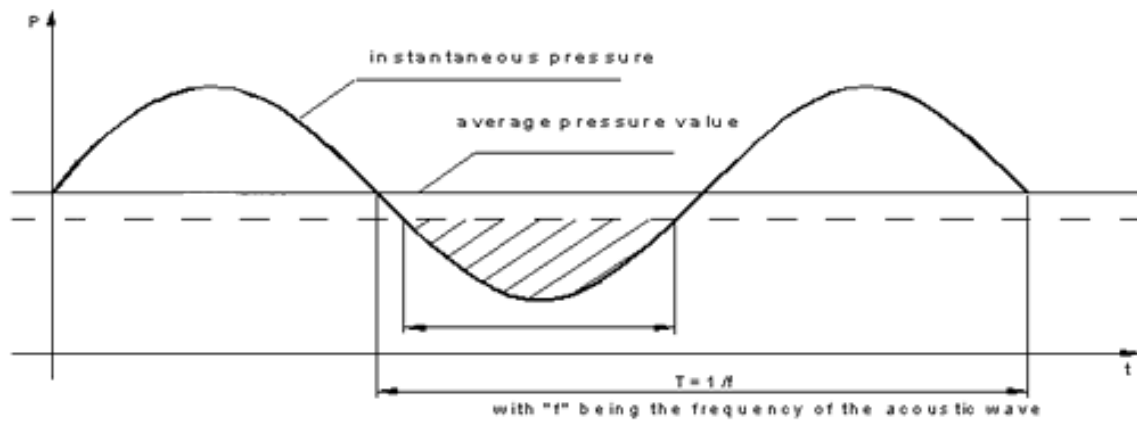


Fig. 2.11. Presión en una onda acústica
<http://www.fisa.com/es/Technology.htm>

Se debe tener en cuenta que el estado físico de un medio líquido o gaseoso está relacionado con la temperatura y la presión a la que se encuentra dicho medio. Un claro ejemplo lo tenemos en el agua que hierve a una temperatura de 100° C y una presión de 1 Bar, pero si se tuviera una temperatura inferior con una presión lo suficientemente baja el agua se transformaría en vapor.

Al tener una onda sonora cuya intensidad es lo suficientemente grande, en el momento en que la presión alcance su valor crítico se creará una burbuja de vapor en el medio líquido, la cual en función de la duración del tiempo T , aumentará de volumen almacenando en si energía potencial.

Al término de este pequeño instante de tiempo, cuando la presión sigue aumentando, llegará un punto en que el estado de vapor no seguirá siendo posible, entonces se produce una explosión de la burbuja de vapor en un punto muy pequeño, invisible al ojo humano; de este estallido se restituirá la energía anteriormente acumulada.

A pesar de ser una pequeña explosión a partir de una simple burbuja se crea una subida de energía muy alta debido a la implosión instantánea de dichas burbujas.

Un ejemplo claro que explica por analogía este fenómeno, lo podemos encontrar en un martillo, instrumento que acumula energía y que luego la

transmite en un instante produciendo una amplificación enorme de los valores de presión.

A continuación, se estudiarán los principales factores que intervienen en el proceso de lavado de objetos mediante el uso de frecuencias ultrasónicas.

2.2.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL LAVADO ULTRASÓNICO

El proceso de limpieza mediante ultrasonido es un efecto que se crea por la acción de ondas sonoras de alta frecuencia (entre 20 y 70 KHz) aplicadas a un medio líquido que actúa como el agente encargado de la limpieza de los objetos.

En resumen, el proceso de limpieza cumple con los siguientes efectos:

- a) Luego que de el generador de vibraciones electrónico emite las señales de alta frecuencia sonora que llegan al transductor, éste que está situado debajo de la bandeja de acero inoxidable, transforma la señal del generador en vibraciones mecánicas que crean una onda ultrasonora que se transmite y se propaga por el medio líquido o agente de limpieza.



Fig. 2.12. Generación onda ultrasonido en el medio líquido
<http://www.fisa.com/es/Ultrasonics.htm>

- b) La onda sonora que se propaga en el medio líquido produce una alternación sucesiva de presión y depresión en las moléculas del medio. En la fase de depresión, se producen pequeñísimas burbujas en el líquido, lo que da inicio al fenómeno denominado **cavitación**.



Fig. 2.13. Propagación de onda de ultrasonido en el medio líquido
<http://www.fisa.com/es/Ultrasonics.htm>

- c) Ya en fase de presión, las pequeñas burbujas que se han creado en el medio líquido, comienzan a explotar al ponerse en contacto con la pieza u objeto sumergido, restituyendo así la energía que habían acumulado. Esta energía de explosión (mecánica) aumenta notablemente la eficacia de la acción química del agente limpiante sobre la pieza, obteniéndose resultados de limpieza de mejor calidad que otros procesos y en tiempos de trabajo menores.

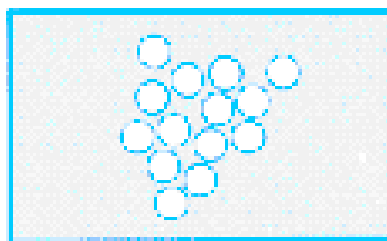


Fig. 2.14. Formación de burbujas en el medio líquido (antes de la explosión)
<http://www.fisa.com/es/Ultrasonics.htm>

A continuación se explicará en detalle, como se produce el efecto de la cavitación y los factores que afectan a este fenómeno.

2.2.2.1. Cavitación Ultrasónica.

La **cavitación ultrasónica** es el fenómeno que se produce y mediante el cual se ha concebido la aplicación de ondas sonoras de alta frecuencia como un principio de lavado de objetos.

Las señales de alta frecuencia producidas por un generador electrónico son transformadas en vibraciones mecánicas por un transductor de ultrasonido, colocado debajo de una batea de acero inoxidable, la cual contiene al agente de limpieza. Estas vibraciones u ondas de alta frecuencia producidas actúan sobre el medio líquido creando variaciones de compresión y depresión sobre las moléculas del mismo a una altísima velocidad. Esta alternación de las ondas sonoras que se generan en el líquido da lugar al fenómeno llamado "**cavitación ultrasónica**".

La velocidad de la variación de las ondas de compresión y depresión depende de la frecuencia en la que trabajen tanto el generador electrónico de las señales así como el transductor de ultrasonido. Por lo general en el mercado se pueden encontrar generadores y transductores que trabajan a una frecuencia comprendida entre 20 y 75 KHz.

2.2.2.1.1. Aspectos físicos de la cavitación ultrasónica.

Durante el proceso de limpieza de objetos mediante ultrasonidos, el fenómeno que se produce en el medio líquido es conocido como "**cavitación**", y como se explico en los párrafos anteriores, consiste en la formación y la explosión de millones de pequeñas burbujas vacías dentro del líquido. Estas burbujas se generan en toda la masa líquida, llegando así a penetrar en las fisuras o hendiduras muy pequeñas de un objeto.

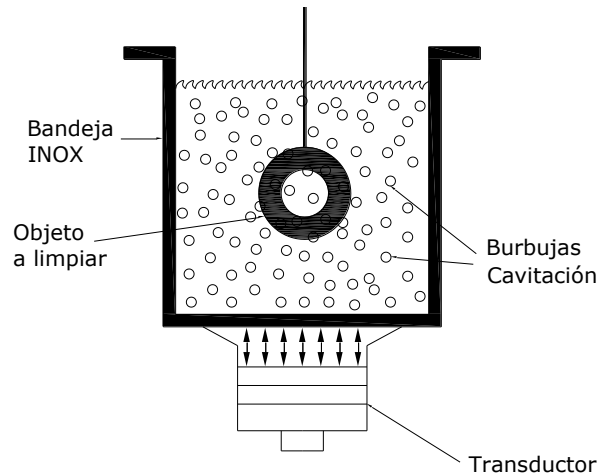


Fig. 2.15. Esquema del principio de cavitación (burbujas exageradas)

Este fenómeno es producido debido a la alternación de una compresión y una depresión que se genera en el medio líquido durante un semiciclo de la onda sonora. Esta alternación produce los altos y bajos puntos de presión.

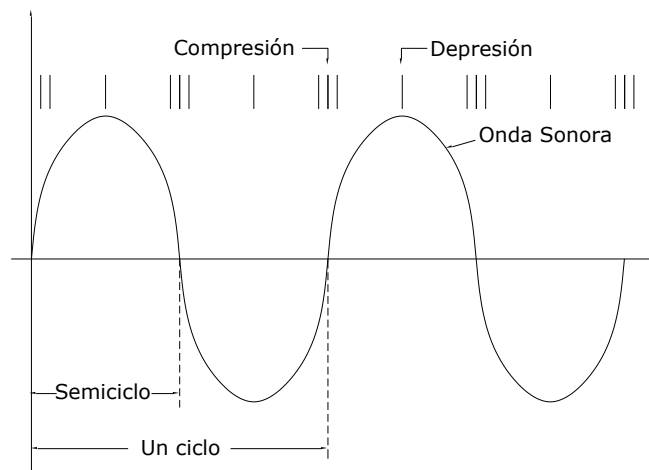


Fig. 2.16. Ciclos de compresión y depresión de una onda sonora.

Durante la depresión las moléculas del líquido o agente de limpieza se encuentran dilatadas más allá de su resistencia a la tracción, y se empieza con el proceso de crecimiento de las burbujas, empezando de su tamaño original (núcleo microscópico). A continuación en la fase de compresión, las burbujas creadas y que han aumentado de tamaño empiezan a implotar violentamente. Este fenómeno de creación e implosión de las burbujas se produce a una velocidad proporcional a la frecuencia de ultrasonido aplicada, la misma que puede variar en un rango de 20 a 70 u 80 KHz.

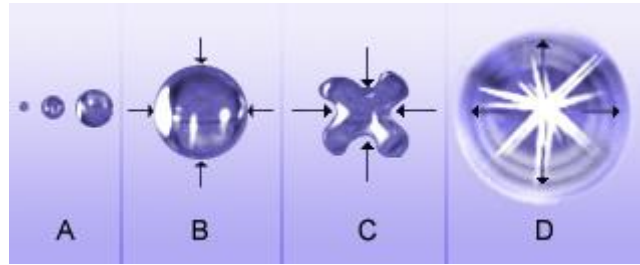


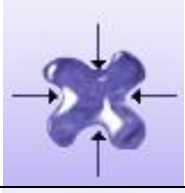



Fig. 2.17. Formación de cavidades y fenómenos de implosión

<http://www.testlab-online.com/>

Tabla 2.3. Resumen del Proceso de Cavitación

FASE	FIGURA	DESCRIPCION
A		En la fase de depresión se crean en el interior del líquido un infinito número de burbujas de gas que aumentan de tamaño mientras dure la fase de depresión acústica (presión negativa).
B		La formación de las burbujas es el inicio de la cavitación. En esta fase se empieza el proceso de compresión de las burbujas recién expandidas.
C		La creciente presión que se ejerce sobre las burbujas, las comprime de manera abrupta, aumentando enormemente la temperatura del gas que éstas contienen.
D		La compresión se da hasta un punto en el que las burbujas colapsan en si mismas implotando con la expulsión de una gran cantidad de energía. *

* Esta energía que proviene de la violenta implosión de las burbujas de gas, golpean fuertemente la superficie del objeto a limpiar interactuando de forma física y química, lo que garantiza que se cumple con el proceso de limpieza de un objeto. Físicamente se produce un fenómeno de "microbarrido" a una altísima frecuencia (proporcional a la que funciona el generador de ultrasonido de 20 a 80 KHz) y químicamente se produce la acción detergente de la sustancia química propia del agente de limpieza.

Fuente: <http://www.testlab-online.com/>

A pesar de que las burbujas que explotan son microscópicas e individualmente liberan muy pequeñas cantidades de energía, el efecto acumulativo de millones de implosiones instantáneas se convierte en un efecto de intensa energía.

En teoría, en el proceso de implosión se alcanzan temperaturas en el orden de 11.000° C y presiones cercanas a 7.000 kg/cm², lo cual nos da una idea del “poder limpiador” que se produce, capaz de desalojar tenaces suciedades.

A continuación definimos las maneras en que la cavitación mejora en gran medida la eficiencia de la física y de la química en lo referente a una solución en el lavado industrial:

- ✚ Aumento de la velocidad de disolución de suciedades por el contacto íntimo que se produce entre el agente de limpieza y la superficie del objeto contaminada.
- ✚ Se produce un ataque directo a la molécula adherente por la cual la suciedad se fija en la superficie de la pieza.
- ✚ Previene la formación de una película neutra en la superficie de la pieza que pueda producir problemas al momento de su limpieza.
- ✚ Se eleva rápidamente la temperatura del líquido con lo que se aumenta la velocidad de la acción química de limpieza del mismo.

2.2.2.1.2. Factores en la Cavitación

El inicio del fenómeno de cavitación es denominado “*Umbral de cavitación*”. Este punto se lo obtiene cuando la energía que se aplica al líquido es suficiente para descender la presión del mismo por debajo de su presión de vapor durante la depresión.

La cantidad de energía que se requiere para obtener este punto varía según las diferentes soluciones de limpieza existentes en el mercado. Del mismo modo la frecuencia de trabajo juega un papel importante en el desarrollo de la cavitación.

Según las propiedades físicas del agente limpiante, este cavitará a diferentes niveles, de acuerdo a su densidad, viscosidad, tensión superficial, presión de vapor y temperatura. Un ejemplo lo tenemos en el agua, que es un mejor medio de cavitación que los solventes orgánicos.

2.2.2.1.2.1. Presión de vapor

El valor medio de la presión de vapor de un agente de limpieza es el que más nos interesa en cuanto a los propósitos de limpieza ultrasónica. Cuando tenemos una presión de vapor baja, se produce en la cavitación burbujas que implotan relativamente con gran fuerza, pero el número de burbujas producido se reduce requiriendo de un umbral de cavitación más alto. Una presión de vapor alta, bajará el umbral de cavitación y producirá una mayor cantidad de burbujas de gas, pero la energía emanada de éstas no será muy intensa debido a la menor diferencia presión interna/externa que se produce en ellas.

En uno u otro extremo, el efecto de cavitación disminuye por lo que se recomienda trabajar con valores medios de presión de vapor del agente de limpieza.

2.2.2.1.2.2. Tensión superficial

Para obtener mejores resultados la tensión superficial deberá ser moderada, ya que con una alta tensión las burbujas tienen menos elasticidad y desaparecen con mayor intensidad, pero se presenta también una gran dificultad a su formación. Una baja tensión superficial les dará gran elasticidad, un gran crecimiento pero reducirá la fuerza implosiva y por ende disminuyendo la intensidad del efecto de cavitación.

2.2.2.1.2.3. Viscosidad

La viscosidad del agente de limpieza debe ser baja para así facilitar la cavitación. Cuanto más alta es la viscosidad, mayor será la energía necesaria que se debe entregar en la transmisión de las ondas de ultrasonido.

2.2.2.1.2.4. Densidad

De manera ideal, la densidad debería ser alta para favorecer a un intenso proceso de cavitación, aún si los líquidos de alta densidad requieran más energía para dilatar las microburbujas, éstas producirán una mayor fuerza implosiva.

2.2.2.1.2.5. Temperatura.

La temperatura a la que se encuentre el líquido afecta tanto a la calidad del proceso de cavitación como a la acción química de limpieza sobre la superficie del objeto. Ambas podrían mejorar de gran forma con el incremento de la temperatura del medio líquido. Sin embargo, existe una temperatura ideal para la cual se produce el máximo rendimiento del efecto de cavitación. Dicha temperatura óptima de operación varía en los líquidos dependiendo de sus propiedades físicas descritas anteriormente. Por lo general, las soluciones acuosas cavitan dentro de un rango de 60 a 70° C.

Incrementando la temperatura, la cavitación disminuye constantemente hasta llegar al punto de ebullición, en donde esta última cesa totalmente. Esto se produce debido a que las burbujas creadas, inmediatamente se llenan de vapor evitando su violenta desaparición. Por lo tanto, al aumentar la temperatura en el líquido lo que se pretende es al principio acelerar la intensidad de la cavitación y luego calmar el proceso si éste se eleva demasiado.

Si esta energía recibida es de alto poder crea un estado de gran agitación en el que el líquido cerca de la superficie radiante se vuelve elástico. Este fenómeno se lo denomina “*cavitación de superficie*”, y lo que produce es una obstrucción en la transmisión de las ondas sonoras. Los efectos de dicho fenómeno son comparables con lo que ocurre en el motor de un automóvil, que llevándolo hasta el pie de una montaña es acelerado hasta un punto tal, que las ruedas patinan y en lugar de continuar acelerando, el auto se detiene.

2.2.2.2. Desgasificación

Este es un proceso que debe llevarse a cabo antes de que el ultrasonido pueda ser efectivamente aplicado tanto a un medio de limpieza acuoso como a un solvente. Este proceso consiste en remover los gases disueltos que se encuentran en el líquido (generalmente aire) que de no ser removidos, las burbujas vacías formadas se llenarán con gas, dando como resultado una

amortiguación de la fuerza de cavitación y por ende reduciendo el efecto de limpieza.

La desgasificación se la lleva a cabo mediante la agitación ultrasónica del líquido mientras se eleve su temperatura por la acción mecánica.

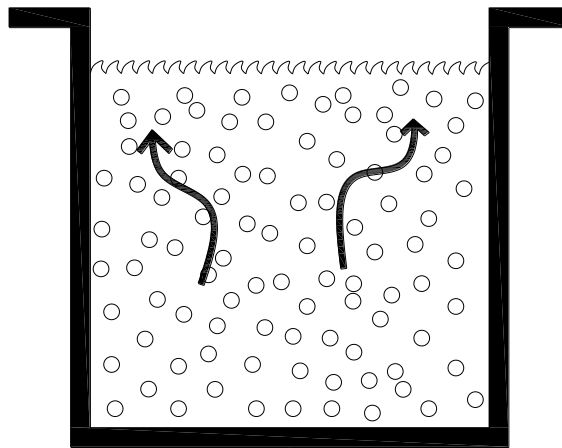


Fig. 2.18. Proceso de desgasificación

Durante el proceso de desgasificación ultrasónica los gases disueltos coagulan en grandes burbujas que se elevan a la superficie y desaparecen.

El tiempo que se requiere para el proceso de desgasificación varía de un líquido a otro según su naturaleza. Por ejemplo, una solución acuosa requiere de cerca de 15 minutos, mientras que la desgasificación de un solvente puede tardar algunos minutos más.

La desgasificación debe ser repetida en el comienzo de cada operación de limpieza, pero en los días subsiguientes el tiempo requerido será una pequeña fracción del período inicial.

El proceso de desgasificación puede ser incrementado, de ser necesario, de dos maneras:

- a) disminuyendo el nivel del líquido
- b) utilizar energía de mayor intensidad con las ondas vibratorias.

2.2.2.3. Selección del tipo de agente de limpieza y la temperatura de trabajo

Se ha hablado sobre la importancia que tiene la selección del agente de limpieza líquido a utilizarse. Es por este motivo es que es de vital importancia considerar el aspecto físico-químico de dicho solvente que se va a utilizar en el proceso de lavado por ultrasonido.

El primer punto en el debemos poner atención es la sustancia que se desea remover del objeto sucio, determinar su naturaleza y posteriormente en función de esto elegir el tipo de sustancia química que nos garantice un efecto de limpieza sobre el elemento contaminante.

Por lo general, la sustancia química o detergente que se utiliza para obtener una mayor eficiencia en el proceso de cavitación es una solución acuosa la cual tiene características que facilitan este proceso como una alta presión de vapor, una baja tensión superficial y que se la utiliza a una temperatura de trabajo entre 50 y 60 °C.

De aquí radica la importancia de la temperatura de trabajo de la solución acuosa en un equipo de lavado ultrasónico; es así que, la intensidad de cavitación varía con el cambio de temperatura. Como se explico anteriormente, la intensidad de cavitación aumenta al aumentar la temperatura, hasta cerca de los 65 °C para luego disminuir y desaparecer completamente a la temperatura de ebullición del líquido utilizado.

Analicemos ahora otro de los factores importantes del medio de limpieza como es la presión de vapor de dicha solución a utilizarse. Entendemos por presión de vapor al siguiente concepto:

“Si consideramos un líquido en un recipiente cerrado y termostatizado, las moléculas superficiales que tienen energía suficiente pasan al estado de vapor y se distribuyen en el espacio disponible fuera del líquido. Ocasionalmente, algunas moléculas de vapor vuelven al estado líquido hasta que se arriba al estado de equilibrio del sistema, a temperatura constante, la velocidad de evaporación iguala a la de condensación. La presión ejercida por las moléculas

*de vapor, en estas condiciones, se define como "**presión de vapor**". Su valor no depende de la cantidad de líquido, sino solamente de la temperatura. Por lo tanto si un líquido es calentado, la presión de vapor aumenta con la temperatura y cuando la presión de vapor iguala a la presión externa se produce el fenómeno de ebullición. Cada líquido, por lo tanto, tendrá su propia presión de vapor y una diferente temperatura de ebullición.*"⁵

Teniendo en cuenta estos factores, se debe realizar la selección del agente de limpieza que va a ser utilizado con nuestro sistema de ultrasonido.

2.2.2.4. Frecuencias de trabajo. Sistema de barrido total (sweep system).

En los párrafos anteriores habíamos descrito de manera general la importancia de la frecuencia de trabajo de un sistema de limpieza por ultrasonido, ahora vamos a profundizar un poco más en este aspecto.

Dentro de este tema cabe destacar la importancia de la frecuencia del generador ultrasónico, la potencia entregada, el uso del sistema de barrido total (sweep system) y el tipo de transductor utilizado.

2.2.2.4.1. Frecuencia de trabajo

La frecuencia del sistema generador de ultrasonido es importante debido a que es ésta quien determina el tamaño del punto de cavitación en el interior del líquido expuesto a la influencia de las ondas ultrasónicas. A mayor frecuencia del generador menor será el tamaño del punto de cavitación generado, en cambio a una menor frecuencia, mayor será el tamaño de los puntos de cavitación. Debemos aclarar que cuanto más grandes sean dichos puntos se requerirá una mayor energía para realizar el efecto de implosión y por ende se entregará también una mayor energía, mientras que un punto de cavitación más pequeño necesita menos energía para implotar y será menor la energía que va a entregar.

⁵ Referencia: <http://www.testlab-online.com/ultrasonido>, Presión de vapor, 15/12/04

Entonces podemos hablar sobre la ventaja de utilizar un sistema de lavado ultrasónico de alta frecuencia, ésta última permite generar en una misma unidad de tiempo muchos puntos de cavitación, permitiendo de este modo que existe mayor homogeneidad de cavitación por unidad de superficie del objeto a limpiarse. Por ejemplo, al trabajar con un sistema de 40 KHz, la distancia entre picos y nodos de la onda sonora, es relativamente la mitad de la generada por un sistema de 20 KHz, por tanto, en el primer sistema en una determinada unidad de tiempo se generan muchos más puntos de cavitación de dimensiones menores, lo que permite llegar a secciones aun muy pequeñas por unidad de superficie.

Una rápida explicación práctica sería asemejar la cavitación de alta frecuencia con una tela esmeril de grano muy grueso (lija gruesa). El fin de la tela de esmeril es el de lijar, pero es evidente que se pueden obtener resultados muy diferentes según se utilice una tela esmeril de grano grueso o una de grado fino.

2.2.2.4.2. Transductores

Los transductores que son los encargados de la transmisión de las ondas sonoras al líquido, pueden ser de dos tipos:

- a) De tipo electrostrictivo
- b) De tipo Magnetostrictivo

Por lo general se utilizan los del tipo piezoeléctrico debido a que es posible construir transductores que trabajen a frecuencias mucho más elevadas que las que pueden trabajar los de tipo magnetostrictivos que pocas veces superan los 22 KHz como frecuencia de operación.

En la siguiente sección, se profundiza sobre el tema de los transductores que se utilizan en un sistema de lavado por ultrasonido.

2.2.2.4.3. Sistema de barrido total (Sweep system)

El uso de un generador de ultrasonido que cuente con un sistema de barrido total (sweep system) mejora notablemente la distribución de la cavitación ultrasónica.

Esta mejoría se produce debido a que la frecuencia de trabajo del generador se la modula alrededor de una frecuencia central, con variaciones aceptables de más o menos (+/-) 1 KHz. Un ejemplo sería nuestro sistema en su primera etapa que trabaja con un transductor sintonizado a 40 KHz, en la práctica trabajará con una oscilación de frecuencia comprendida entre 39 y 41 KHz. Esta variación de frecuencia tiene como objetivo fundamental evitar la formación de las “ondas estacionarias” en el interior del líquido. De formarse este tipo de ondas se producirían fenómenos de interferencia acústica cuando dos o más trenes de onda se entrecruzan en una región del espacio. Por tanto, un sistema de barrido total (sweep system) con su acción reducirá los tiempos de limpieza, prevendrá el daño de partes delicadas, incrementará la homogeneidad de la cavitación ultrasónica y ayudará a producir este efecto en los líquidos en los que existan dificultades para cavitarse.

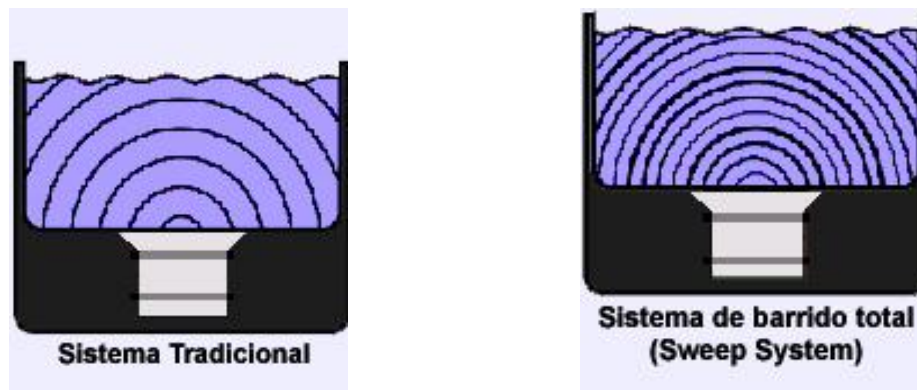


Fig. 2.19. Sistema de Barrido Total (Sweep System)

<http://www.testlab-online.com>

2.3. APLICACIONES DEL LAVADO ULTRASÓNICO

En la actualidad existe un gran campo de aplicación de las lavadoras ultrasónicas en una amplia gama de sectores industriales, profesionales y domésticos.

De manera general se puede decir que en una lavadora por ultrasonido se puede lavar una cantidad inmensa de objetos metálicos, plásticos, cerámicos, mixtos, etc.

A continuación algunas áreas de aplicación de la limpieza por ultrasonido.

Sector dental:

Lavado de todo tipo de instrumental utilizado, vidrios, cerámicas, plásticos, fresas, prótesis, coronas, implantes, eliminación de yesos, remoción de cementos varios de los instrumentos, coronas, puentes, etc.

Sector químico:

Lavado de vidriería en general; remoción de proteínas, sangre y lípidos de cubetas, pipetas, policubetas, filtros, capilares; desgasificación de líquidos, aceleración de reacciones químicas, sonicación, etc.

Joyería:

Lavado de anillos, cadenas, collares, piedras preciosas, mallas de relojes, mecanismos de precisión, etc.

Sector médico hospitalario:

Lavado de todo el instrumental quirúrgico, partes de endoscopios, cánulas, puntas para trepanación, etc.

Sector Industrial:

Lavado de piezas de tornería automática, piezas estampadas en plástico o resinas, rodamientos, motores, piezas de precisión, válvulas, esferas, partes de

bombas, bulonería en general, lavado de autopartes en general, filtros metálicos, de plástico o teflón, radiadores, partes de motores, lentes de contacto, circuitos impresos, etc.

Sector mecánica automotriz:

Lavado de herramientas de precisión, carburadores, electroinyectores nafteros, inyectores de motores diesel, bombas lineales y rotativas, tapas de cilindro, carcazas de alternadores, engranajes, válvulas, etc.

Sector óptico:

Lavado de lentes de contacto, armazones de lentes, espejos, condensadores, instrumental quirúrgico, etc.

Galvanoplastías:

Lavado y desengrase de todas las piezas previo al tratamiento de dorado, niquelado, cromado, zincado, etc.

Sector electrónico:

Lavado en serigrafía para circuitos SMT, circuitos impresos, eliminación del flux de soldadura, lavado de precisión en circuitos SMD, contactos eléctricos, plaquetas para aplicaciones en alta frecuencia, terminales, contactores, cabezales de impresoras, cartuchos ink-jet, etc.

Sector militar y aeronáutico:

Lavado de armas, casquillos de municiones, filtros de aviación, piezas para ensayos con tintas penetrantes, etc.

Sector metalográfico:

Limpieza de precisión y eliminación de pastas de lapidado en probetas metalográficas previo al examen en microscopio.

Sector reciclado:

Lavado de precisión de cabezales ink-jet de impresoras a chorro de tinta y cartuchos, etc.

Sector anti-incendio:

Lavado de detectores en general, máscaras antigás, anteojos de protección, etc.

Sector service:

Lavado de precisión de piezas mecánicas y electrónicas de teléfonos celulares, cámaras, videocámaras, videoregistradoras, remoción de flux ó suciedades orgánicas de plaquetas electrónicas, eliminación de óxidos en válvulas y objetos en general, etc.

El único cuidado que se debe tener es evitar el lavado de objetos que se dañan si son sometidos a inmersión en un líquido de naturaleza acuosa o solvente.

2.4. TIPOLOGÍA DE LOS TRANSDUCTORES

En los párrafos anteriores habíamos hablado sobre la función de los transductores dentro de un sistema de limpieza por ultrasonido, pero en este punto realizaremos un análisis más exhaustivo de estos elementos para determinar su tipología, sus características y las aplicaciones a las que se pueden someter, del mismo modo analizaremos que tipo de transductor será el escogido para la elaboración del proyecto.

2.4.1. TRANSDUCTORES DE POTENCIA. APLICACIONES

Las aplicaciones de los ultrasonidos se clasifican generalmente en dos grandes grupos que se refieren, respectivamente, al uso de bajas y altas intensidades. Los ultrasonidos de potencia cubren las aplicaciones de alta intensidad en las

que se trata de producir modificaciones permanentes en el medio sobre el que se actúa. La mayoría de las aplicaciones de los ultrasonidos de potencia se llevan a cabo en el campo de frecuencia entre 20 y 100 kHz y con intensidades acústicas que varían desde aproximadamente $0,1 \text{ W/cm}^2$ hasta varios KW/cm^2 . El empleo de las frecuencias ultrasónicas permite obtener altas aceleraciones y concentración de energía en medios de muy diversa naturaleza, sin producir molestias acústicas a las personas.

Existe una amplia gama de procesos que pueden ser promovidos mediante los ultrasonidos de potencia. Los más importantes son:

En medios sólidos:

- a) mecanización
- b) soldadura
- c) formación de metales, etc.

En medios líquidos:

- a) limpieza
- b) aceleración de reacciones químicas
- c) emulsificación
- d) atomización
- e) despumación
- f) secado
- g) aglomeración de aerosoles, etc.

La aplicación industrial de estos procesos depende fundamentalmente de la tecnología de generación de los ultrasonidos de alta intensidad.

2.4.1.1. Selección de un tipo de transductor de potencia

Los principales puntos a considerar en los transductores son la capacidad de potencia, el rendimiento, la amplitud y distribución de la vibración y la direccionalidad de la radiación emitida.

Los transductores de potencia son sistemas de banda estrecha con capacidades de potencia que van desde algunos cientos de vatios hasta varios kilovatios y gran amplitud de vibración.

En el siguiente capítulo se presentarán las características y capacidades específicas de los transductores a usarse en este proyecto.

2.4.2. MATERIALES PARA LA TRANSDUCCIÓN ULTRASÓNICA DE POTENCIA.

En la actualidad la gran mayoría de transductores ultrasónicos son fabricados con materiales cerámicos piezoeléctricos, descritos en párrafos anteriores; por esta razón realizaremos un análisis más profundo de este tipo de transductor. Sin embargo, también vamos a describir brevemente los recientes desarrollos de nuevos materiales *magnetostrictivos* (compuestos de tierras raras) que han venido mostrando propiedades muy prometedoras para el proceso de transducción de potencia.

2.4.2.1. Estructura y tipos de transductores.

Por lo general los transductores son dispositivos que han sido formados por un conjunto de elementos de los cuales el piezoeléctrico (o magnetostrictivo) se constituye en el motor del sistema, ya que es el elemento que realiza el cambio de sus dimensiones en respuesta a la acción de un campo eléctrico (o magnético). Los otros componentes de la estructura del transductor son elementos pasivos que se utilizan con el propósito de mejorar la transferencia de energía. Por lo general estos componentes son piezas de aleaciones metálicas.

A continuación vamos a describir las características básicas de los elementos activos y pasivos que componen la estructura de un transductor de potencia, y como se menciono antes, poniéndose énfasis en las cerámicas piezolétricas.

Vamos a analizar los dos tipos de transductores de potencia con los que se puede generar el ultrasonido.

2.4.2.1.1. Transductores magnetostrictivos

Las partes que constituyen a un transductor magnetostrictivo son varias filas de láminas de níquel en forma de E, Este sistema se encuentra alimentado por una bobina con corriente de frecuencia necesaria para formar el campo electromagnético.

Las láminas de níquel están moldeadas y posicionadas de tal forma que tienen igual y exacta distancia entre ellas, estas se fabrican con la altura correcta de tal manera que vibran mecánicamente a la frecuencia deseada. Su distancia entre láminas está calculada de manera que la densidad de su impedancia acústica corresponde aproximadamente a la del agua la cual nos asegura que la transferencia de energía del transductor al líquido será la más eficaz.

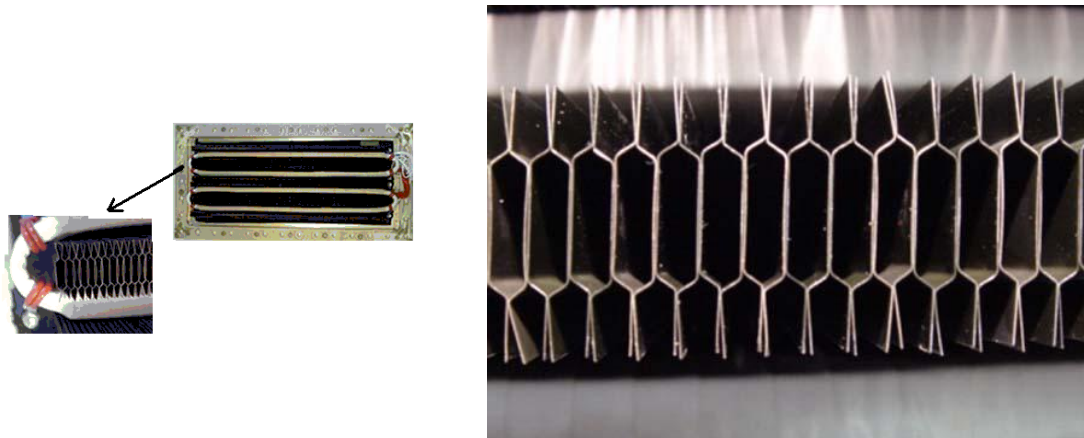
Este prototipo de transductores están basados en el funcionamiento asociado al fenómeno del ferromagnetismo el cual con las tensiones elásticas y sus variaciones internas en los cristales de material ferromagnético están sometidas en acción al campo magnético.

Los fabricantes de los transductores mencionados verificaron que en los transformadores de energía que alimentaban con corriente eléctrica producían un ronroneo que era causado por vibraciones en las láminas en el transductor la cual este fenómeno es ahora útil para el sistema ultrasónico.

Debido a que el níquel tiene adecuadas características para este fenómeno anotamos las siguientes:

1. Alta resistencia al ensayo mecánico.
2. Efecto magnetostrictivo elevado.
3. Suficientemente dúctil: se puede laminar, cortar.

4. Alta permeabilidad ferromagnética que comporta altos valores en la inducción, incluso con la aplicación de los valores moderados en el campo magnético.
5. Inalterable a los agentes atmosféricos (no se oxida con la humedad).



a) Construcción tipo nido de abeja

b) Paneles de níquel

Fig. 2.20. Paneles internos de un transductor magnetostrictivo

<http://www.fisa.com/es/Technology.htm>

Mostramos prototipos de transductores con la forma de nido de abeja el cual esta formado por láminas de níquel con representación de revestimiento oscilante.

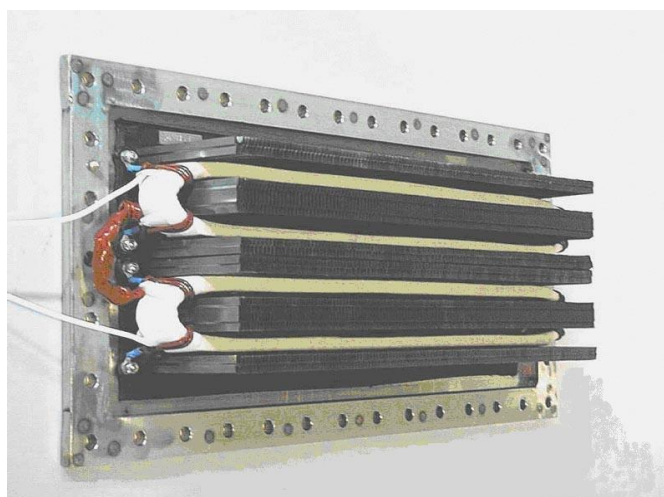


Fig. 2.21. Transductor magnetostrictivo

<http://www.fisa.com/es/Technology.htm>

En la figura se aprecia un transductor magnetostrictivos el cual esta basado en el magnetismo producido por la bobina y por su forma de nido de abeja dará la vibración homogénea que genera una onda ultrasonora con elevada densidad de potencia, la frecuencia de este prototipo es de 20 kHz.

2.4.2.1.2. Transductores piezoeléctricos para Limpieza

Se ha dicho ya que la tecnología piezoeléctrica se fundamenta en utilizar las características de ciertos materiales cerámicos que se deforman (expanden y contraen) cambiando sus tensiones elásticas internas y su forma cuando se les aplica un campo eléctrico.

La estructura básica de este tipo de transductor que crea las ondas ultrasónicas, se basa en una forma de ola o de disco de varios milímetros de espesor y un diámetro de varios centímetros. Por el agujero central se hace pasar un sin ningún contacto un tornillo de bloqueo.

Un transductor piezoeléctrico está conformado de varias partes, representadas brevemente en el siguiente esquema:

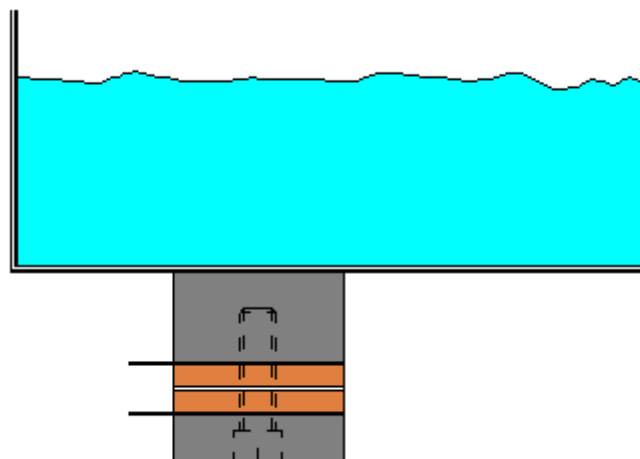


Fig. 2.22. Estructura transductor piezoeléctrico
<http://www.fisa.com/es/Technology.htm>

La fabricación de un transductor piezoeléctrico se hace al juntar dos cerámicas piezoeléctricas, la una bajo la otra, y a los extremos de ellas se insertan partes metálicas de aluminio y de acero y todo el conjunto es apretado mediante el tornillo. Este tipo de configuración determina al transductor con el nombre de ***tipo sandwich***.

Las dimensiones son las que se determinan mediante previo cálculo para que el transductor se constituya en una estructura mecánica que posee una determinada frecuencia de oscilación, que debe ser similar a la onda de ultrasonido a aplicarse. Es así como se convierte en un sistema resonante con la capacidad de aumentar la amplitud del movimiento de las superficies de las cerámicas piezoeléctricas, cuando se aplique en ellas un campo magnético alterno que deberá tener varios cientos de voltios de tensión, y cuya frecuencia coincida exactamente con la resonancia mecánica.

En el mercado normalmente se pueden encontrar transductores piezoeléctricos diseñados para poder crear 50 w de poder ultrasónico. Si en algún requerimiento se necesitará un sistema resonante de mayor fuerza de salida, lo que se debe hacer es conectar los elementos piezoeléctricos mediante conexión eléctrica en paralelo. Por ejemplo si nosotros necesitamos conseguir un diafragma resonante que irradie 600 W de poder ultrasónico, entonces sería necesario conectar en paralelo 12 elementos con capacidad de 50 W. (ver fig. 2.23.)

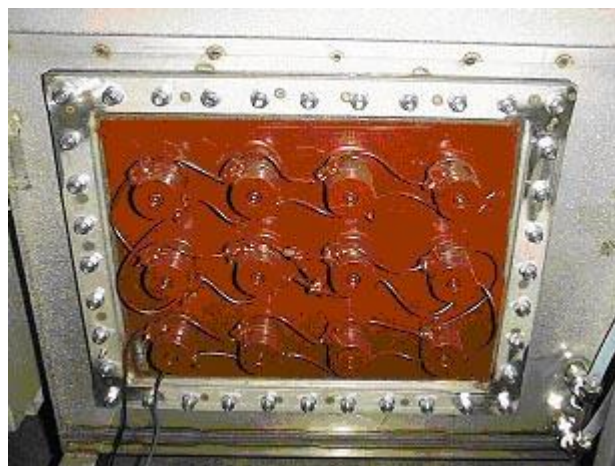


Fig. 2.23. Conexión en paralelo de transductores piezoeléctricos
<http://www.fisa.com/es/Technology.htm>

Muchas veces se hace necesario explicar la razón por la cual se necesitan dos elementos piezoeléctricos para conformar este tipo de transductor tipo sandwich. La razón fundamental se debe a que la presencia del tornillo, necesario para conservar con la suficiente fuerza las dos partes, es metálico y provocaría un corto circuito entre las dos caras de la cerámica.

Entonces si se disponen dos cerámicas, colocándolas cara a cara con polaridades iguales se solucionará este problema de cortocircuito.

Analicemos ahora los elementos pasivos que conforman el transductor. Ya habíamos dicho que en los extremos de las cerámicas se colocan elementos metálicos, específicamente, aluminio y acero. Ahora bien, es la parte de aluminio la que se va a poner en contacto con la cuba metálica de acero inoxidable, mientras que la parte de acero se quedaría alejada de la cuba y estaría en contacto con el aire.

Esta disposición aluminio-acero se justifica debido a que el propósito que se persigue es que la transferencia de vibración desde las cerámicas hacia la cuba sea lo máxima posible, y que por el contrario la parte opuesta hacia el aire sea mínima.

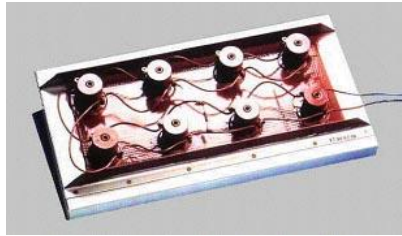
Entonces con la utilización de aluminio se optimiza en gran forma la adaptación de la impedancia acústica entre el líquido y las cerámicas. Mientras que con el acero se consigue un máximo de reflexión en relación con el aire.

En los párrafos anteriores se hablo de la polaridad de las cerámicas piezoeléctricas, dicha polaridad proviene del proceso de fabricación de las mismas. (Ver 2.1.3.2. *Fabricación de Cerámicas Piezoeléctricas*).

2.4.2.1.2.1. [Funcionamiento de un transductor piezoeléctrico](#)

El funcionamiento de estos transductores se produce al aplicar energía eléctrica, ya que las cerámicas se deforman y transmiten su energía a las masas metálicas que son quienes generan la onda ultrasónica.

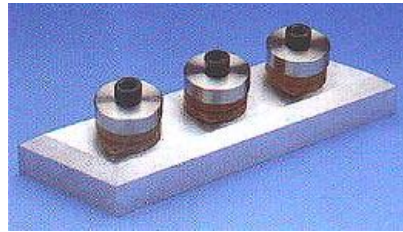
Dependiendo de la fabricación, el ensamblado y el tipo de transductores se puede obtener sistemas de monofrecuencia (entre 20 a 40 KHz), o sistemas de multifrecuencia (de 40 a 130 KHz, dependido del tipo de señal que se entrega al transductor).



a) Transductores en Paralelo Monofrecuencia (vista posterior)



b) Transductores en Paralelo Monofrecuencia (vista superior)



c) Transductores Multifrecuencia (dependen del tipo de señal)

Fig. 2.24. Transductor piezoeléctrico mono y multifrecuencia
<http://www.fisa.com/es/Technology.htm>

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE LAVADO POR ULTRASONIDO

En este apartado se llevará a cabo el diseño y la construcción del sistema de lavado por ultrasonido, y de manera rápida se puede describir los elementos que conformarán dicho sistema.

El sistema debe contener un circuito oscilador de retroalimentación positiva para producir la vibración para el transductor piezoeléctrico, un circuito de control de temperatura, un circuito timer o de control de tiempo de lavado y lógicamente los circuitos para interfaz con el usuario y de alimentación de energía eléctrica.

3.1. CIRCUITO GENERADOR DE ULTRASONIDO

3.1.1. OSCILADORES ELECTRÓNICOS RETROALIMENTADOS.

Un oscilador es un dispositivo capaz de repetir dos acciones opuestas en un período de tiempo regular, por ejemplo: el movimiento de un péndulo.

En el área electrónica, un ejemplo de oscilador es la variación de la tensión o corriente en un punto específico. Un circuito LC (inductor – capacitor) es capaz de producir esta oscilación a su frecuencia natural de resonancia.

Aplicaciones de los osciladores:

- Circuitos digitales (reloj)
- Transmisión y recepción de radio

Hay un tipo de oscilador llamado *oscilador realimentado* y para que éste oscile debe haber en el circuito una *realimentación positiva*.

Las características de los osciladores realimentados

- Amplificación
- Lazo de realimentación positiva
- Circuito para controlar la frecuencia

Un oscilador realimentado es un circuito que usa un amplificador para suministrar la energía necesaria al oscilador y un circuito de realimentación para mantener la oscilación. Es en este circuito de realimentación donde se pierde la energía que tiene que suministrar el amplificador para el continuo funcionamiento del oscilador.

El principio de un amplificador retroalimentado ideal de un solo lazo, se lo representa en el siguiente diagrama:

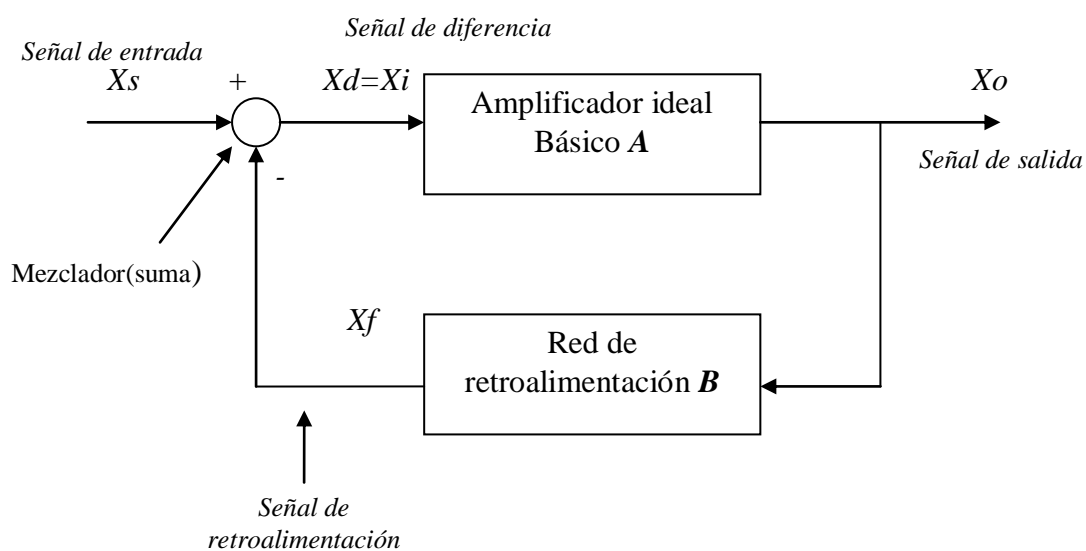


Fig. 3.1. Esquema oscilador retroalimentado ideal de un solo lazo

www.unicrom.com/electronica

De donde podemos establecer de manera rápida las siguientes relaciones:

$$A = \text{Ganancia del Amplificador} \quad A = \frac{X_o}{X_i} \quad (\text{ec. 3.1.})$$

$$B = \text{Factor de Transmisión} \quad B = \frac{X_f}{X_o}; \quad B \in \mathcal{R} \text{ (positivo o negativo)} \quad (\text{ec. 3.2.})$$

$$A_f = \text{Ganancia de retroalimentación} \quad A_f = \frac{X_o}{X_s} \quad (\text{ec. 3.3.})$$

Para encontrar la ganancia de retroalimentación, nos vamos a ayudar de la gráfica en la que podemos obtener las siguientes relaciones.

$$\begin{aligned} X_d &= X_s - X_f & X_f &= B \cdot X_o \\ X_o &= A \cdot X_i & \text{ó} & X_o &= A \cdot X_d \end{aligned} \quad (\text{ec. 3.4.})$$

$$\boxed{X_o = A(X_s - X_f)} \quad (\text{ec. 3.5.})$$

$$X_o = \frac{X_f}{B} \quad X_s = X_d + X_f = \frac{X_o}{A} + B \cdot X_o \quad (\text{ec. 3.6.})$$

$$X_s = X_o \left(\frac{1}{A} + B \right) \quad (\text{ec. 3.7.})$$

$$A_f = \frac{X_o}{X_s} \quad A_f = \frac{X_o}{X_o \left(\frac{1}{A} + B \right)} \quad (\text{ec. 3.8.})$$

$$\boxed{A_f = \frac{A}{(1 + B \cdot A)}} \quad (\text{ec. 3.9.})$$

De esta relación encontrada para la ganancia de retroalimentación podemos definir que:

a) Si $|A_f| < |A|$ se obtiene una retroalimentación negativa $\implies |1 + B \cdot A| > 1$

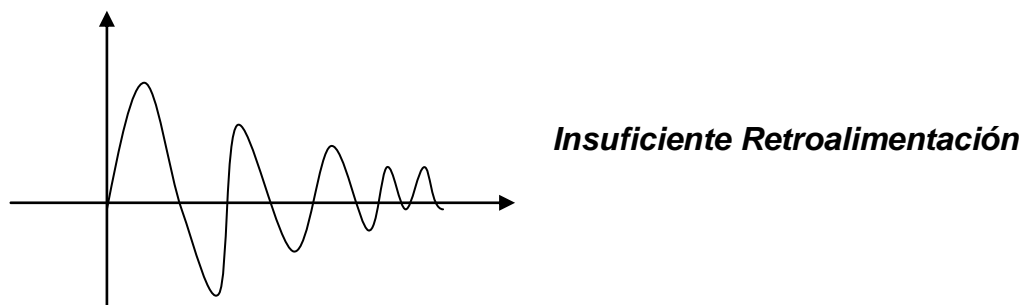


Fig. 3.2. Esquema retroalimentación negativa
www.unicrom.com/electronica

b) Si $|A_f| > |A|$ se obtiene una retroalimentación positiva $\implies |1 + B \cdot A| < 1$
 (oscilador)

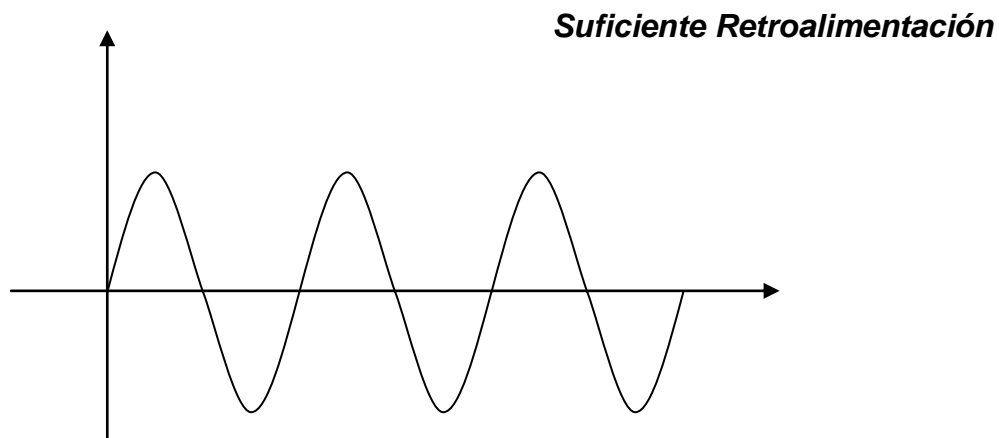
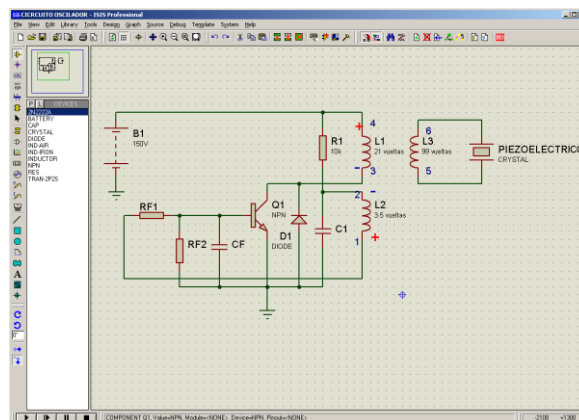


Fig. 3.3. Esquema retroalimentación positiva
www.unicrom.com/electronica

Una vez comprendido que el circuito oscilador que servirá de base para la ejecución de este proyecto debe ser de retroalimentación positiva, podemos realizar el análisis del circuito de oscilador de bloqueo.

3.1.2. CIRCUITO OSCILADOR DE BLOQUEO (ULTRASONIDO).

En la siguiente figura se presenta el circuito básico para el funcionamiento de un oscilador de bloqueo, el cual va a ser utilizado para generar las vibraciones en el transductor piezoeléctrico seleccionado.



a) Diagrama Circuito en Proteus 6.0

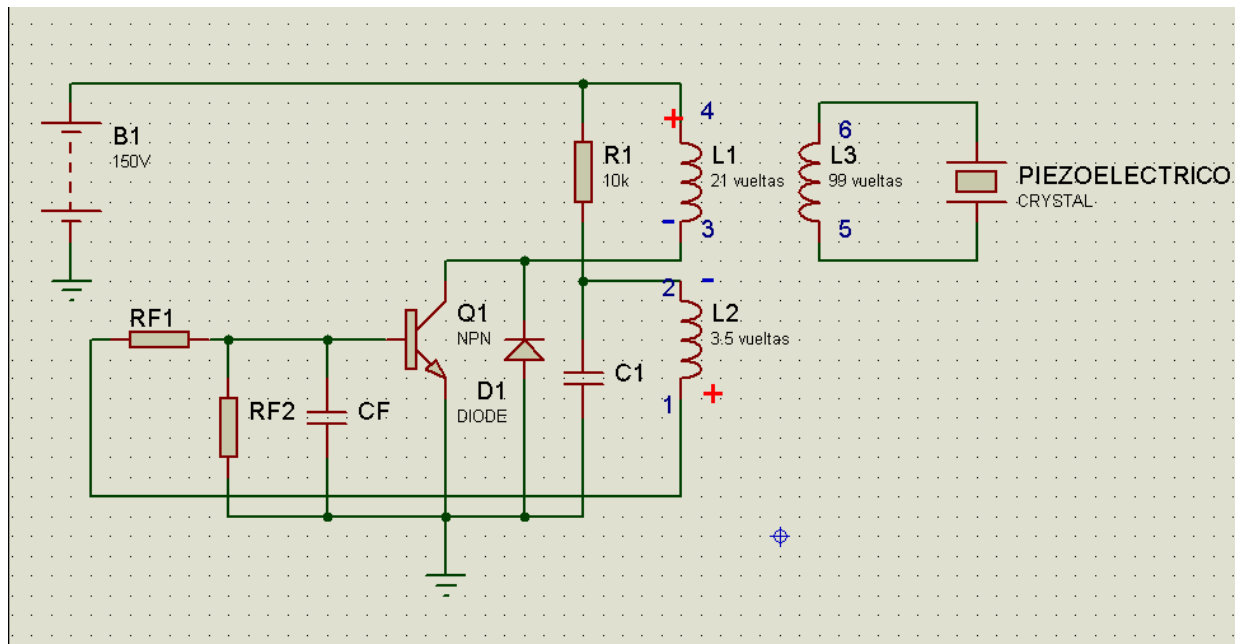


Fig. 3.4. b) Diagrama circuito Oscilador de Bloqueo características
www.unicrom.com/electronica

3.1.2.1. Funcionamiento del Circuito Oscilador de Bloqueo:

- a) Cuando el circuito es energizado (150 VDC \approx 110 VAC rectificada), la corriente en la base del transistor NPN, crece rápidamente debido a la polarización directa establecida entre base y emisor por la alimentación de $V_{cc} = + 150$ VDC, la corriente se incrementa paulatinamente en el circuito colector – emisor de acuerdo al incremento de la corriente de base.
- b) Debido al incremento de corriente en el colector, un voltaje que llega a ser más positivo es inducido en el bobinado 1 – 2 del transformador. Este voltaje realimentado carga el condensador CF a través de las resistencias RF_1 y RF_2 que hace que se incremente la polarización directa. Esta regeneración continúa rápidamente hasta que el transistor llegue a saturarse.
- c) En estado de saturación la corriente de colector llega a ser constante, por lo tanto ya no habrá ningún voltaje inducido en el bobinado 1 – 2 y la carga del condensador CF será cesada. El condensador CF empieza a descargarse a través de la resistencia RF_2 . El campo magnético

inducido anteriormente en el bobinado 1 -2 colapso, es decir, se produce una *fuerza contra electromotriz* (f.c.e.) de polaridad contraria, esto es ahora la base – emisor se polariza inversamente.

- d) Las corrientes de base y colector caen a cero. El transistor ahora está en modo de corte (no conduce) hasta que el condensador CF, se descargue a través de las resistencia RF_2 , hasta que nuevamente el condensador alcance el voltaje que haga que el transistor se polarice directamente y conduzca otra vez.
- e) Este circuito con retroalimentación positiva oscila con una salida de onda sinusoidal de alto voltaje en la frecuencia propia resonante del transformador, RF_2 , CF y el cristal piezoeléctrico.

De este análisis es que se debe determinar los valores de RF_2 y de CF, para que el tiempo de descarga de CF sea el que se necesita para producir la oscilación del cristal a la frecuencia de trabajo determina, es decir, a 40 KHz.

Este cálculo se lo realiza mediante el período de este circuito entre CF y RF_2 :

$$T \approx CF \cdot RF_2 \quad (\text{ec. 3.10.})$$

Sabemos que la frecuencia es el inverso del período, y la frecuencia en la que va a trabajar el transductor piezoeléctrico es de 40 KHz, por lo tanto:

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{ec. 3.11.})$$

$$T = \frac{1}{f}$$

$$RF_2 \cdot CF = \frac{1}{f} \quad (\text{ec. 3.12.})$$

$$RF_2 \cdot CF = \frac{1}{40000 \text{ Hz}}$$

$$\boxed{RF_2 \cdot CF \approx 2.5 \times 10^{-5} \text{ seg} = T} \quad (\text{ec. 3.13.})$$

En este punto empieza un proceso iterativo, para poder determinar los valores de RF_2 y CF , que primeramente nos arrojen un valor de período cercano al determinado y que dichos componentes existan en el mercado.

Luego de varias alternativas y pruebas ejecutas con el circuito oscilador para que vibre el transductor, se pudo establecer que los valores óptimos para el trabajo del mismo son:

$$RF_2 = 68 \Omega \quad (\text{ec. 3.14.})$$

$$CF = 470 \text{ nF} = 0.47 \times 10^{-6} \text{ F} \quad (\text{ec. 3.15.})$$

De donde podemos obtener los valores de período y frecuencia:

$$T \approx RF_2 \cdot CF \quad (\text{ec. 3.13.})$$

$$T \approx 68 \Omega \cdot 0.47 \times 10^{-6} \text{ F} \quad (\text{ec. 3.13.})$$

$$T \approx 3.196 \times 10^{-5} \text{ seg} \quad (\text{ec. 3.13.})$$

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{ec. 3.13.})$$

$$f = \frac{1}{3.196 \times 10^{-5} \text{ seg}} \quad (\text{ec. 3.13.})$$

$$\boxed{f = 31289 \text{ Hz} \approx 40 \text{ KHz}} \quad (\text{ec. 3.13.})$$

Una vez determinado los principales valores del circuito de bloqueo (oscilador) podemos analizar los otros circuitos que intervienen en la lavadora ultrasónica.

- f) Como se puede ver en el diagrama la diferencia de vueltas en el transformador entre los puntos 1-2, 3-4 y 5-6 son las que determinarán el voltaje se entregarán al circuito que pertenecen. En el caso del bobinado 1 – 2 , este entregará un voltaje menor que el de 3 – 4, pero el 5 – 6 elevará el voltaje en una relación de 4.71 veces (99/21) por lo

que el transductor piezoeléctrico estará recibiendo un voltaje de 707 V aproximadamente ($150 \times 4,71$), pero esto de manera ideal ya que por los picos que puede alcanzar puede llegar un voltaje de 1500 a 2000 V, lo que le produce mejor eficiencia en su trabajo.

3.2. DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS DEL ULTRASONIDO

3.2.1. PARÁMETROS FUNCIONALES.

Una vez establecido el circuito principal generador de ultrasonido, podemos realizar los otros circuitos que complementarán al ultrasónico.

Estos circuitos deberán ser capaces de realizar las funciones de:

- a) Alimentación de energía
- b) Control de Variables (tiempo de lavado y temperatura)

La alimentación de energía debe ser totalmente controlada y regulada, ya que vamos a trabajar con componentes sensibles y si la corriente no estuviese lo suficientemente estabilizada podrían dañar los componentes electrónicos usados.

Los circuitos de control de tiempo y temperatura están ligados completamente al microprocesador que se va a utilizar para tales fines.

3.2.2. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Dentro de los requerimientos funcionales del equipo a diseñarse está la energía eléctrica de suministro, la cual deberá ser de 110 VAC, con una frecuencia de

60 Hz. Del mismo modo, se tendrá que regular esta energía estabilizarla, y transformarla al voltaje y frecuencia necesaria para trabajar en el equipo.

Cabe anotar que al trabajar con un microcontrolador es necesario tener un voltaje de alimentación del mismo de 5 VDC, lo cual tendrá que ser estrictamente regulado para seguridad de funcionamiento del mismo.

La pantalla LCD (Liquid Crystal Display) también deberá ser alimentada con 5 VDC, pero la corriente que este componente consume es mayor que la que el microcontrolador podría entregar así que se dispondrá de otro circuito de alimentación para esta pantalla.

3.2.3. SISTEMAS DE CONTROL Y ALIMENTACIÓN

En este punto analizaremos en primer lugar los circuitos de alimentación de energía, los de regulación de voltaje, luego el circuito control de temperatura, el circuito temporizador (timer) y al final explicaremos el manejo y/o interfaz con el usuario a través de la pantalla LCD.

3.2.3.1. Circuito de Alimentación de Energía

El siguiente diagrama representa el circuito de alimentación de energía principal.

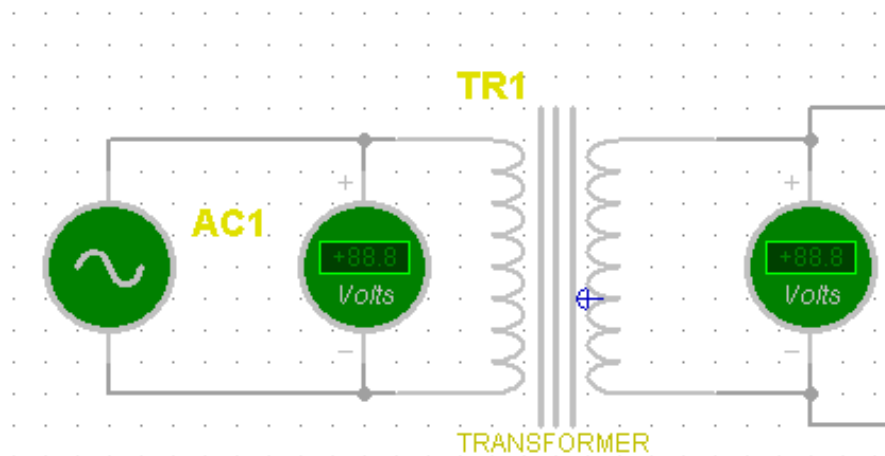


Fig. 3.5. Diagrama circuito de alimentación de energía

La fuente de suministro de energía representada en el diagrama por la fuente alterna de 110 VAC, es la que entrega la energía al transformador 110VAC / 12 VA de 3 A, es decir que a la salida del transformador tenemos un voltaje de 12 VAC con una corriente de 3 A.

Un transformador de este tipo si existe en el mercado nacional por lo que este circuito no representa mayor dificultad.

En una simulación del circuito podemos ver los valores que arrojan los voltímetros de corriente alterna del programa.

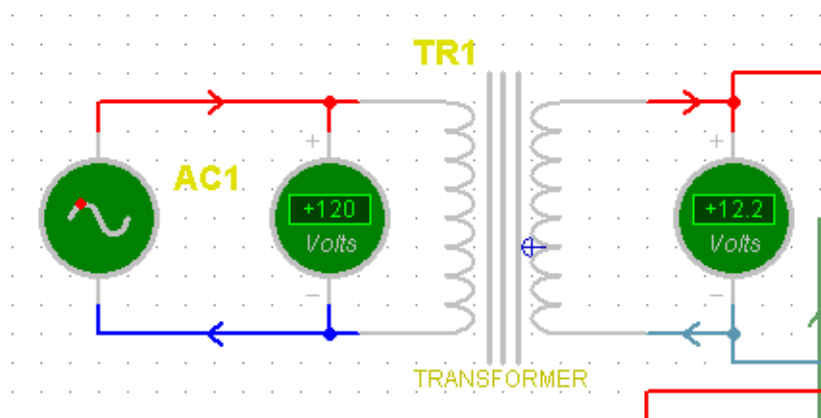


Fig. 3.6. Simulación circuito de alimentación de energía

3.2.3.2. Circuito de Regulación de Voltaje

Este circuito es el que se encarga de rectificar y de estabilizar el voltaje y la corriente que se entregará a la salida del circuito.

Para la rectificación del VAC se utiliza un puente de diodos los cuales rectifican la señal alterna transformándola en VDC la cual se estabiliza a través de un condensador.

Para la regulación del voltaje se utilizan los CI 7805, los cuales son los encargados de estabilizar el voltaje de salida a 5VDC con una corriente máxima de 2 A.

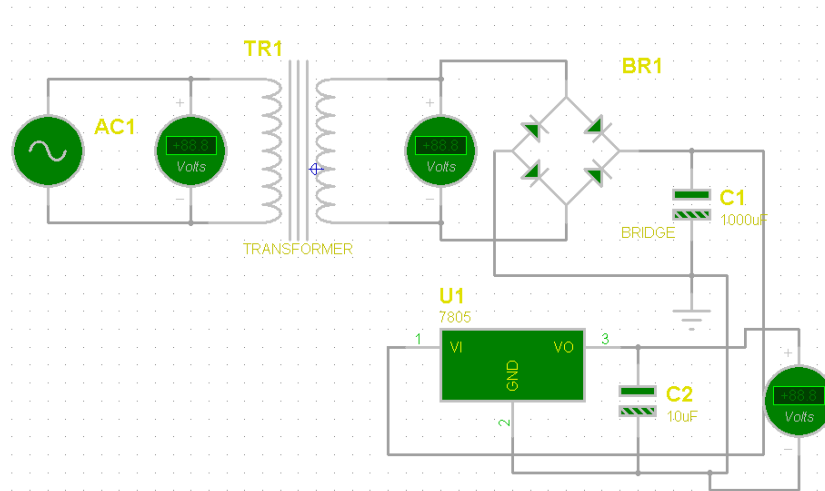


Fig. 3.7. Diagrama circuito de regulación de voltaje

En simulación de este circuito podemos ver el voltaje ya estabilizado.

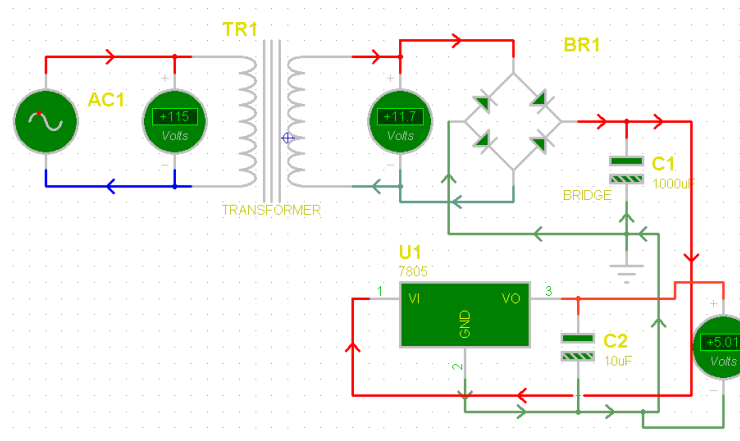


Fig. 3.8. Simulación circuito de regulación de voltaje

3.2.3.3. Circuito de Control de Temperatura

Para este circuito ya entra en juego el microcontrolador y su programación, así que en esta sección es en donde debemos decidir que procesador usar.

Debido a la adaptabilidad, la velocidad de respuesta y la disponibilidad en el mercado se ha decidido utilizar el microcontrolador ATMEGA 8 de la compañía ATMEL (para arquitectura y características ver Anexo B “Microcontrolador ATMEGA8”).

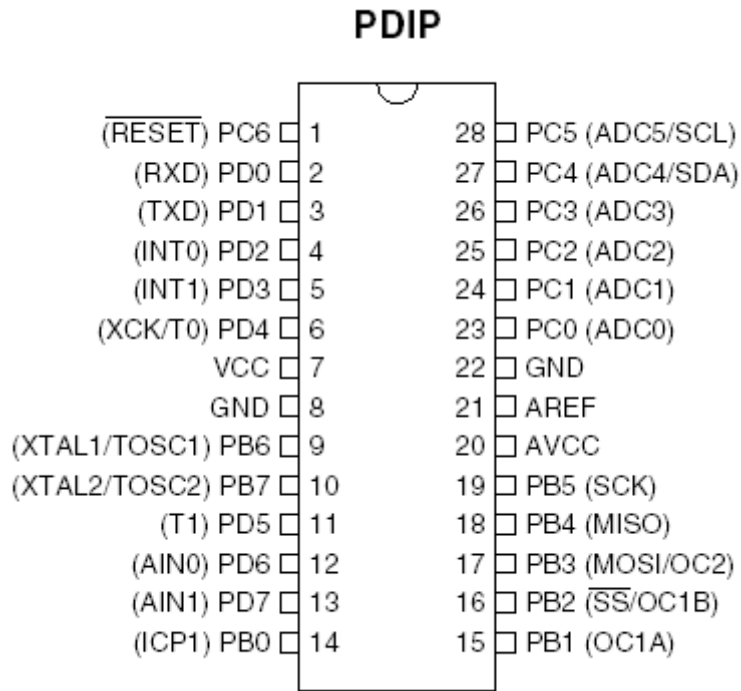


Fig. 3.9. Diagrama de Pines del Microcontrolador ATMEGA8 de ATMEL

En el circuito de control de temperatura también vamos a utilizar el sensor DS1821 de la compañía Dallas Semiconductors (ver Anexo C “Sensor Temperatura DS1821”), este sensor tiene la capacidad de entregar los datos medidos de temperatura en una señal digital que entrará al microcontrolador para que éste decida que acción tomar.

PIN ASSIGNMENT

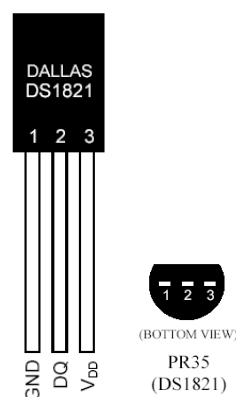


Fig. 3.10. Asignación de pines del sensor digital de temperatura DS1821 de DALLAS

Para el control de temperatura solamente se necesita utilizar dos pines del microcontrolador, el primero que recibirá la señal digital proveniente del sensor

DS1821 y el segundo que tendrá una señal de salida que será el encargado de accionar el optoacoplador (*OPTOTRIAC*) que se encargará de conectar y/o desconectar el *TRIAC* para que pase energía a las niquelinas (resistencias planas) las cuales serán las encargadas de calentar el líquido dentro de la bandeja de lavado.

En este diagrama se puede apreciar claramente las conexiones que se necesita realizar, así como la configuración de los pines del microcontrolador para el circuito de control de temperatura.

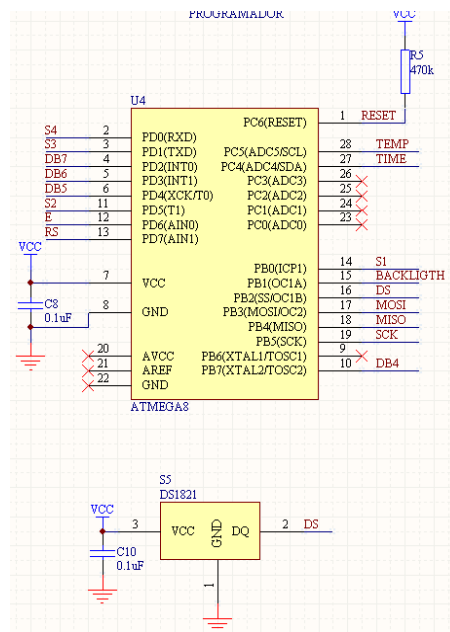


Fig. 3.11. Asignación Pines del microcontrolador para control temperatura

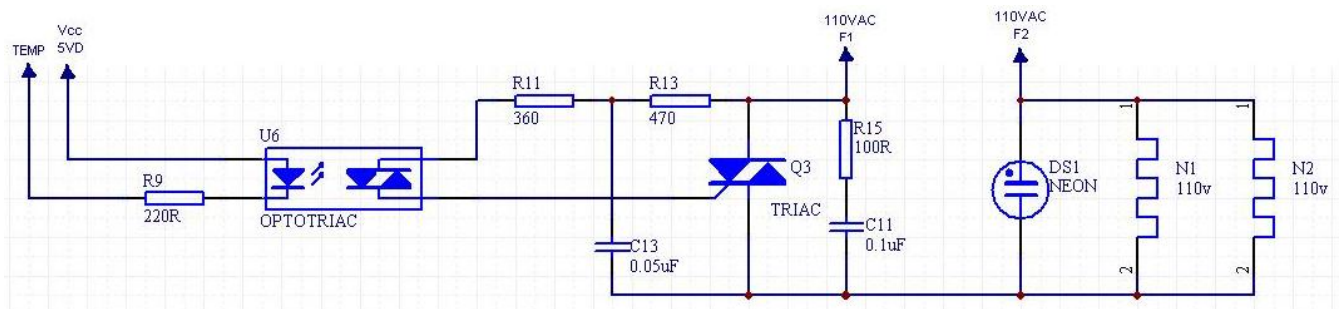


Fig. 3.12. Circuito de Encendido de Niquelinas para calentar líquido

Del diagrama anterior se puede explicar su funcionamiento, en primera instancia se setea la temperatura a la que se desea que se encuentre el líquido de limpieza, posteriormente accionamos el inicio del proceso de lavado.

Mientras el sensor de temperatura DS1821 no alcance la temperatura seteada mandará una señal al microcontrolador a través del pin PB2, esta señal será comparada con la temperatura establecida, la respuesta de esta comparación se la enviará como una salida (0 lógico), la cual es enviada a través del pin TEMP (PC5), esta señal es la que permitirá el accionamiento del optotriac que a su vez accionará el TRIAC de 110VAC con lo que se cerrará el circuito y las niquelinas (resistencias planas) empezarán a calentar.

Una vez que el sensor alcanza la temperatura que nosotros establecimos en el programa del microcontrolador, manda una señal inversa a la anterior (1 lógico) por el pin TEMP, con lo que se desconecta el optoacoplador, el triac y las niquelinas.

El programa es reiterativo ya que cada vez que disminuya la temperatura del líquido el circuito volverá a encender las niquelinas. Este proceso de encendido y apagado de las niquelinas se lo puede observar en la luz de neón de 110 V de color verde que se colocará en el equipo, cuando la luz esté encendida las niquelinas estarán energizadas y por ende calentando el líquido. Si la luz está apagada, las niquelinas no están trabajando.

3.2.3.4. Circuito Temporizador o Timer

El encargado del control de temporización es directamente el microcontrolador, ya que en la programación con la que se le carga está incluido los controles de tiempo.

Ahora bien, el tiempo de lavado es el que controlará el tiempo de funcionamiento del circuito del oscilador de bloqueo (ultrasonido). Por lo que entonces se deberá contar con un sistema de encendido y apagado del circuito oscilador de ultrasonido de acuerdo al tiempo de lavado determinado.

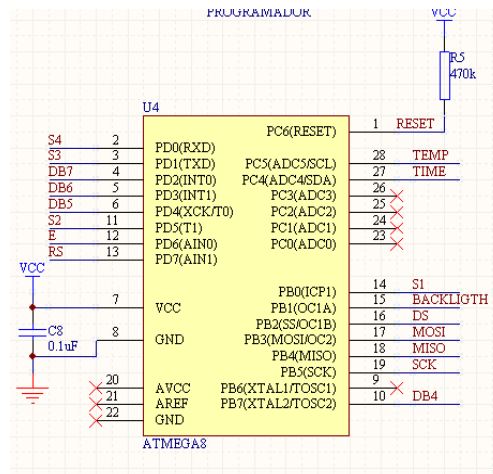


Fig. 3.13. Asignación de pines del microcontrolador para control de tiempo de lavado

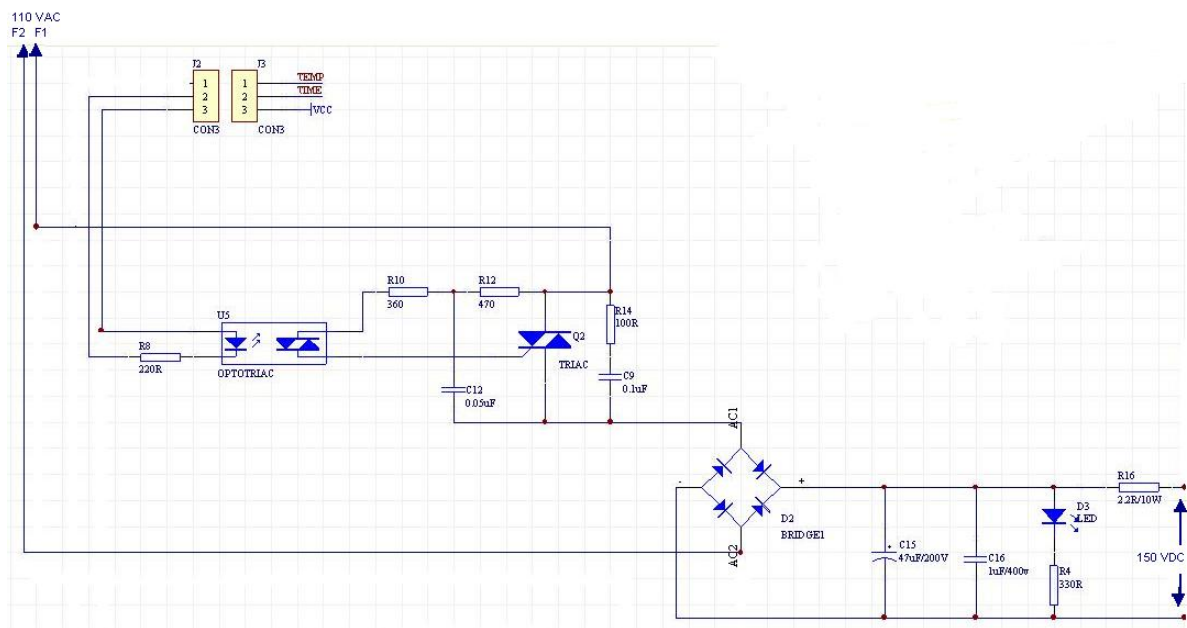


Fig. 3.14. Circuito alimentación del oscilador de ultrasonido según el tiempo.

Al igual que en el circuito de control de temperatura se utilizan un optoacoplador y un triac que serán accionados según la señal que entregue el microcontrolador a través de su pin TIME (PC4). Cuando la señal sea un “0” lógico se cerrará el circuito, se accionará el optoacoplador y el triac, pasando así un voltaje de 110 VAC que llegará al puente diodo encargado de rectificar el voltaje a 150 VDC ($110\sqrt{2}$). Este voltaje será el que se aplique en el circuito oscilador de bloqueo (ultrasonido) explicado anteriormente. Entonces se producirá la vibración del transductor piezoeléctrico y por ende el lavado. Este proceso de lavado durará hasta que el tiempo determinado se haya terminado y el microcontrolador envíe una señal de “1” lógico al pin TIME con lo cual se

desconectará el optoacoplador y el triac y por ende se detendrá el proceso de vibración del circuito de ultrasonido, terminando el lavado ultrasónico.

3.2.3.5. Interfaz con el Usuario por pantalla LCD.

Para el interfaz con el usuario se ha seleccionado una pantalla LCD (liquid cristal display) de 2 x 20, es decir, dos líneas de 20 caracteres cada una. El manejo del LCD también es controlado en su totalidad por el microcontrolador. (características ver Anexo D “Pantalla LCD”)

En la pantalla podremos escoger y determinar los parámetros de tiempo y temperatura deseada para el lavado ultrasónico. Estas variables se guardarán en la memoria EEPROM del microcontrolador con lo que se optimiza sus recursos, la configuración de pines como entrada estarán determinadas por 4 pulsadores que nos servirán para escoger las opciones de TIEMPO, TEMPERATURA, CONTRASTE EN EL LCD Y SALIR, estas opciones formarán parte del MENU principal del Equipo.

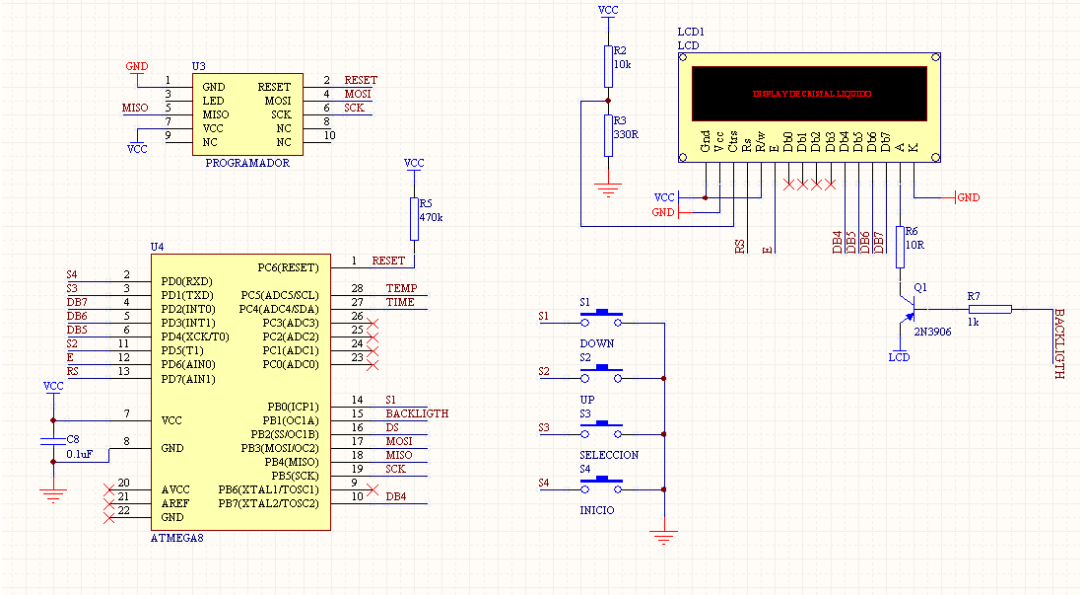


Fig. 3.15. Circuito alimentación y control del LCD (pines del microcontrolador)

En la gráfica podemos ver claramente la configuración de pines del microcontrolador, las entradas de los pulsadores y las salidas hacia el LCD (4 bits).

Los pulsadores Up (S1), Down (S2), Menu/Enter(S3), serán los encargados de enviar los datos de temperatura, tiempo y contraste al microcontrolador y también serán mostrados en el LCD.

El pulsador de Start/Pause (S4) será el encargado de dar inicio al proceso de lavado y de calentamiento.

3.3. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Para llevar a cabo la programación del microcontrolador ATMEGA8 se utilizó el programa BASCOM – AVR DEMO, software de distribución gratuita en Internet y que trabaja con todos los microcontroladores de la empresa ATMEL.

```
***** LAVADOR_INYECTORES.BAS *****
Filename : LAVADOR_INYECTORES.BAS
Revision : 1.0
Controller : AVR ATMEGA8
Author : N. FABIAN ORTIZ V.I
Compiler : BASCOM-AVR Rev. 1.11.7.4
*****

$regfile = "M0def.dat"
$crystal = 1000000

***** CONFIGURACIONES *****

Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portb.7 , Db5 = Portd.4 , Db6 = Portd.3 , Db7 = Portd.2 , E = Portd.6 , Rs = Portd.7
Config Lcd = 20 * 2

Config Timer1 = Pwm , Pwm = 8 , Compare A Pwm = Clear Up , Prescale = 1

Config Timer0 = Timer , Prescale = 1024
Enable Timer0
Enable Interrupts
Stop Timer0

On Timer0 Timer_interruccion

***** CONFIGURACION DE PINES *****

Ddrb.1 = 1
Portb.1 = 1

Ddrb.0 = 0
Portb.0 = 1

Ddrd.5 = 0
Portd.5 = 1

Ddrd.1 = 0
Portd.1 = 1

Ddrd.0 = 0
Portd.0 = 1

Ddrc.5 = 1
Portc.5 = 1

Ddrc.4 = 1
Portc.4 = 1

Seleccion Alias Pind.1
```

Fig. 3.16. Pantalla de programación del microcontrolador BASCOM SOFTWARE

En la figura anterior podemos ver el aspecto del programa y las primeras líneas de programación del microcontrolador ATMEGA8. A continuación se presentan todas las líneas de programa, y posteriormente a ello se muestra un diagrama de flujo que nos permite explicar de una manera más rápida y entendible el programa elaborado.

INICIO PROGRAMA

```
*****
' Filename   : LAVADOR_INYECTORES.BAS
' Revision  : 1.0
' Controller : AVR ATMEGA8
' Author    : N. FABIAN ORTIZ V.
' Compiler  : BASCOM-AVR Rev. 1.11.7.4
*****

$regfile = "M8def.dat"
$crystal = 1000000

***** CONFIGURACIONES *****

Config Lcdpin = Pin , Db4 = Portb.7 , Db5 = Portd.4 , Db6 = Portd.3 , Db7 = Portd.2 , E =
Portd.6 , Rs = Portd.7
Config Lcd = 20 * 2

Config Timer1 = Pwm , Pwm = 8 , Compare A Pwm = Clear Up , Prescale = 1

Config Timer0 = Timer , Prescale = 1024
Enable Timer0
Enable Interrupts
Stop Timer0

On Timer0 Timer_interrupcion

***** CONFIGURACION DE PINES *****

Ddrb.1 = 1
Portb.1 = 1

Ddrb.0 = 0
Portb.0 = 1

Ddrd.5 = 0
Portd.5 = 1

Ddrd.1 = 0
Portd.1 = 1

Ddrd.0 = 0
Portd.0 = 1

Ddrc.5 = 1
Portc.5 = 1
```

Ddrc.4 = 1
Portc.4 = 1

Seleccion Alias Pind.1
Up Alias Pind.5
Down Alias Pinb.0
Inicio Alias Pind.0
Op_time Alias Portc.4
Op_temp Alias Portc.5

***** DECLARACION DE VARIABLES *****

Dim SI As Byte
Dim Tiempos As Byte
Dim Char As Byte
Dim Back As Byte
Dim Back2 As Single
Dim Back3 As Byte
Dim Horas As Byte
Dim Minutos As Byte
Dim Segundos As Byte
Dim Contador_timer As Byte
Dim Temp As Byte
Dim Temp_max As Byte
Dim Temp_min As Byte
Dim T As Word

Deflcdchar 0 , 32 , 32 , 20 , 10 , 5 , 10 , 20 , 32
Deflcdchar 1 , 32 , 32 , 5 , 10 , 20 , 10 , 5 , 32
Deflcdchar 2 , 6 , 9 , 9 , 6 , 32 , 32 , 32 , 32
Deflcdchar 3 , 32 , 32 , 32 , 32 , 14 , 4 , 4 , 4 'LETRA T
Deflcdchar 4 , 32 , 32 , 32 , 32 , 4 , 4 , 4 , 4 'LETRA I
Deflcdchar 5 , 32 , 32 , 32 , 32 , 14 , 10 , 10 , 10 'LETRA M
Deflcdchar 6 , 32 , 32 , 32 , 32 , 14 , 8 , 12 , 14 'LETRA E
Deflcdchar 7 , 32 , 32 , 32 , 32 , 14 , 10 , 12 , 8 'LETRA P

***** INICIALIZACION DS1821 *****

Config 1wire = Portb.2

1wreset
1wwrite &H0C
1wwrite &H40

1wreset
1wwrite &HAC
Temp = 1wread()

1wreset
1wwrite &HEE

***** INICIO *****

Readeeprom Back , 3
Back2 = Back * 2.55
Back3 = Back2


```
Pwm1a = Back3
Temp_min = 0
```

```
Cls
Cursor Off
Home U
Lcd "ESCUELA POLITECNICA"
Lowerline
Lcd " DEL EJERCITO "
Wait 1
```

Main:

```
Readeeprom Horas , 0
Readeeprom Minutos , 1
Readeeprom Temp_max , 2
Readeeprom Back , 3
```

```
Back2 = Back * 2.55
Back3 = Back2
Pwm1a = Back3
```

```
Segundos = 0
Tiempos = 0
```

```
Set Op_time : Set Op_temp
```

```
For T = 0 To 20
  Locate 1 , T
  Lcd " "
  Locate 2 , T
  Lcd " "
  Waitms 10
Next
```

```
Home U
Lcd "LAVADOR ULTRASONICO"
Lowerline
Lcd " 2005 "
```

Do

```
  If Seleccion = 0 Then
    Waitms 150
    Goto Menu
  End If
  If Inicio = 0 Then
    Waitms 150
    Goto Inicio_proceso
  End If
```

```
Loop
End
```

```
***** SUBROUTINAS *****
```

Menu:

```
Stop Timer0
SI = 0
Char = 0
```

```

Segundos = 0
For T = 0 To 20
  Locate 1 , T
  Lcd " "
  Locate 2 , T
  Lcd " "
Next

Do
  Gosub Lectura_temperatura

  If Up = 0 Then
    Waitms 200
    Char = 0
    SI = SI + 1
    If SI = 4 Then SI = 0
  End If

  If Down = 0 Then
    Waitms 200
    Char = 1
    SI = SI - 1
    If SI > 250 Then SI = 3
  End If

  If Seleccion = 0 And SI = 0 Then
    Waitms 250
    Goto Tiempo
  End If

  If Seleccion = 0 And SI = 1 Then
    Waitms 250
    Goto Temperatura
  End If

  If Seleccion = 0 And SI = 2 Then
    Waitms 250
    Goto Contraste
  End If

  If Seleccion = 0 And SI = 3 Then
    Waitms 250
    Goto Main
  End If

  Home U
  Lcd " MENU - LAVADOR "
  Lowerline

  If SI = 0 Then

    Lcd "Times: "
    If Horas < 10 Then
      Lcd "0" ; Horas ; ":"
    Else
      Lcd Horas ; ":"
    End If
    If Minutos < 10 Then
      Lcd "0" ; Minutos ; ":"
    Else

```

```

    Lcd Minutos ; ":"
End If
If Segundos < 10 Then
    Lcd "0" ; Segundos ; " "
Else
    Lcd Segundos ; " "
End If

Else

    If SI = 1 Then

        Lcd "Tempe: "
        Lcd Temp_max ; " "
        Lcd Chr(2) ; "C "

    Else

        If SI = 2 Then

            Lcd "Contr: "
            Lcd Back ; "% "

        Else

            If SI = 3 Then

                Lcd " Salir "

            End If

        End If

    End If

End If
Loop

Return

```

Inicio_proceso:

```

Cls
Contador_timer = 0
Start Timer0
Tiempos = 1
Reset Op_time

Do
    Gosub Lectura_temperatura
    Home U
    Lcd " "
    If Horas < 10 Then
        Lcd "0" ; Horas ; ":"
    Else
        Lcd Horas ; ":"
    End If

    If Minutos < 10 Then
        Lcd "0" ; Minutos ; ":"
    Else
        Lcd Minutos ; ":"
    End If

```

```

End If

If Segundos < 10 Then
  Lcd "0" ; Segundos ; " "
Else
  Lcd Segundos ; " "
End If

Locate 1 , 17
Lcd Chr(3) : Lcd Chr(4) : Lcd Chr(5) : Lcd Chr(6)

Home L

Lcd " "
Lcd Temp_max : Lcd Chr(2) ; "C - "
Lcd Temp : Lcd Chr(2) ; "C "
Locate 2 , 17
Lcd Chr(3) : Lcd Chr(6) : Lcd Chr(5) : Lcd Chr(7)

If Inicio = 0 Then
  Waitms 100

  If Tiempos = 1 Then
    Tiempos = 0
    Stop Timer0
    Set Op_time
    Set Op_temp
  Else
    If Tiempos = 0 Then
      Tiempos = 1
      Start Timer0
      Reset Op_time
    End If
  End If
End If

If Segundos = 0 And Minutos = 0 And Horas = 0 Then

  Stop Timer0
  Tiempos = 0
  Set Op_time
  Set Op_temp
  Readeeprom Horas , 0
  Readeeprom Minutos , 1
  Segundos = 0

End If

If Tiempos = 1 Then

  If Temp < Temp_max Then
    Reset Op_temp
  Else
    If Temp > Temp_max Then
      Set Op_temp
    End If
  End If
End If

Loop Until Seleccion = 0

```

```

Set Op_time
Set Op_temp
Stop Timer0
Goto Menu
Return

```

Temperatura:

```

Cls
Do
  Home U
  Lcd " TEMPERATURA MAXIMA "
  Home L
  Lcd "      "; Temp_max
  Lcd Chr(2); "C      "

  If Up = 0 Then
    Waitms 150
    Incr Temp_max
    If Temp_max = 71 Then Temp_max = 0
  End If

  If Down = 0 Then
    Waitms 150
    Decr Minutos
    Decr Temp_max
    If Temp_max = 255 Then Temp_max = 70
  End If
Loop Until Seleccion = 0
Writeeprom Temp_max , 2
Goto Menu
Return

```

Tiempo:

```

Cls
Do
  Home U
  Lcd " TIEMPO DE LAVADO "
  Home L
  Lcd "      "

  If Horas < 10 Then
    Lcd "0"; Horas ; ":"
  Else
    Lcd Horas ; ":"
  End If

  If Minutos < 10 Then
    Lcd "0"; Minutos ; ":"
  Else
    Lcd Minutos ; ":"
  End If

  If Segundos < 10 Then
    Lcd "0"; Segundos ; "  "
  Else
    Lcd Segundos ; "  "
  End If

```

```

If Up = 0 Then
  Waitms 150
  Incr Minutos
  If Horas = 1 And Minutos = 31 Then
    Horas = 0
    Minutos = 1
  End If

  If Minutos = 60 Then
    Minutos = 0
    Horas = 1
  End If
End If

If Down = 0 Then
  Waitms 150
  Decr Minutos

  If Minutos = 0 Or Minutos > 250 And Horas = 0 Then
    Minutos = 30
    Horas = 1
  End If
  If Minutos = 0 Or Minutos > 250 And Horas = 1 Then
    Minutos = 59
    Horas = 0
  End If
End If

Loop Until Seleccion = 0

Writeeprom Horas , 0
Writeeprom Minutos , 1
Goto Menu

```

Return

Lectura_temperatura:

```

1wreset          'reset the device
1wwrite &H0C
1wwrite &H40

```

```

1wreset
1wwrite &HAC
Temp = 1wread()

```

```

1wreset
1wwrite &HEE

```

```

1wreset
1wwrite &HAA
Temp = 1wread()

```

Return

Contraste:

```

Cls
Do

```

```
Home U
Lcd " CONTRASTE DISPLAY "
Home L
Lcd "      "; Back ; "% "
```

```
If Up = 0 Then
  Waitms 50
  Incr Back
  If Back = 101 Then Back = 0
End If
```

```
If Down = 0 Then
  Waitms 50
  Decr Back
  If Back = 255 Then Back = 100
End If
```

```
Back2 = Back * 2.55
Back3 = Back2
Pwm1a = Back3
Loop Until Seleccion = 0
```

```
Writeeprom Back , 3
Goto Menu
```

Return

Timer_interrupcion:

```
Stop Timer0
```

```
Incr Contador_timer
```

```
If Contador_timer = 4 Then
  Contador_timer = 0
  Decr Segundos
```

```
If Segundos = 255 Then
  Segundos = 59
  Decr Minutos
End If
```

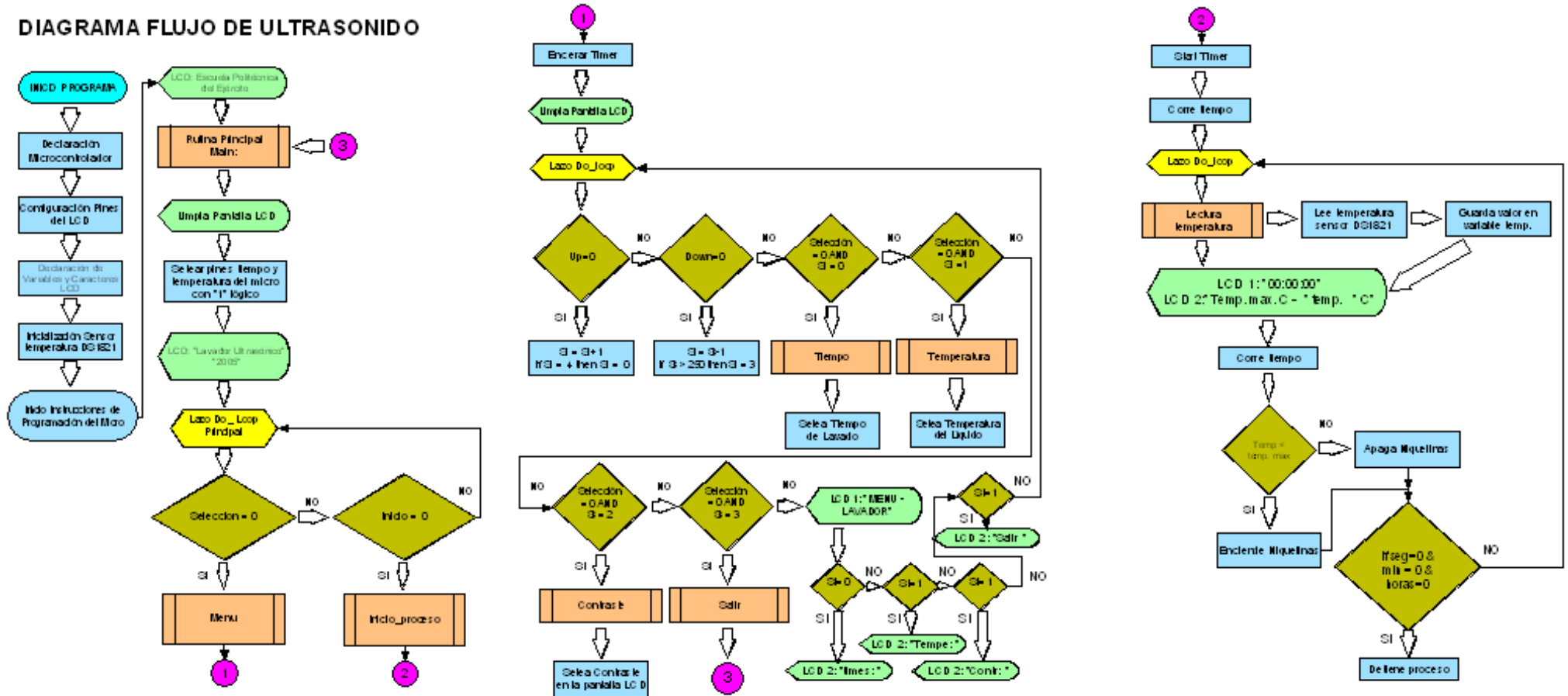
```
If Minutos = 255 And Horas = 1 Then
  Minutos = 59
  Decr Horas
End If
```

```
If Minutos = 255 And Horas = 0 Then
  Minutos = 59
End If
End If
```

```
Start Timer0
Return
```


3.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO

DIAGRAMA FLUJO DE ULTRASONIDO



3.4. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ULTRASONIDO.

3.4.1. SELECCIÓN DE BANDEJA INOXIDABLE Y DE TRANSDUCTOR PIEZOELÉCTRICO.

Las bateas que se comercializan en el mercado y que pueden ser utilizadas para la limpieza ultrasónica son construidas en acero inoxidable AISI 316L con un espesor entre 0,7 o 0,8 mm. Para este proyecto se selecciono una cubeta de capacidad de 2 lt. y cuyas dimensiones son : 17 x 16 cm y 4" de profundidad.

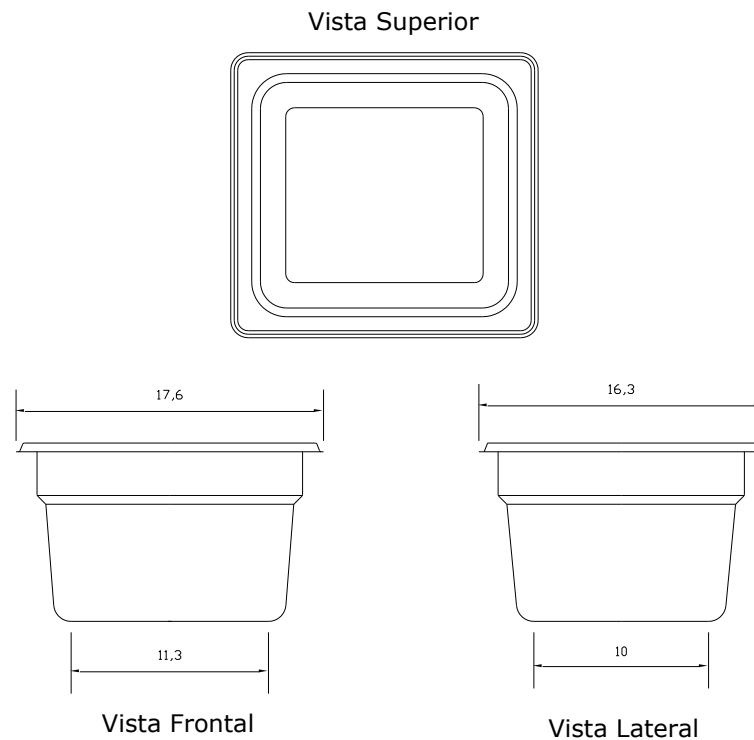


Fig. 3.17. Esquema de la bandeja de acero inoxidable utilizada

El nivel del fluido de limpieza debe estar por lo menos 2 cm por debajo del borde la cubeta. La zona de trabajo de limpieza ultrasónica está a 2 cm del fondo de la batea y a 1 cm del nivel del líquido.

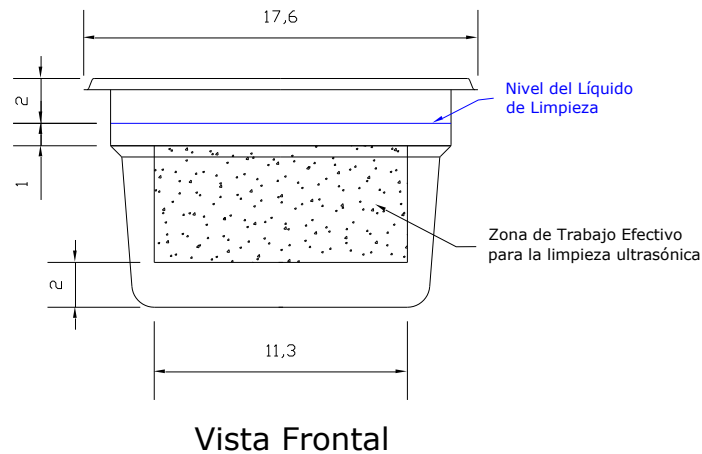


Fig. 3.18. Zona de trabajo efectivo para la limpieza ultrasónica

Para la limpieza de muestras y de inyectores debe diseñarse unos soportes para que las piezas no estén en contacto con la bandeja durante el proceso de lavado y que permanezcan dentro de la zona de trabajo efectivo de la limpieza ultrasónica.

Para la selección del **transductor piezoeléctrico** se debe tener en cuenta la frecuencia de trabajo y la potencia que va a entregar, es por eso que mediante la ayuda de un subprograma de la pagina www.anser.com.ar podemos determinar estos parámetros según las dimensiones de la bodega inoxidable.

Cálculo de litros y potencia en U Sonido Lavadoras

Medidas del tanque		Energía	Litros y Vatios
Ancho	<input type="text"/> Cm	<input type="radio"/> Mínimo <input type="radio"/> Medio <input type="radio"/> Máximo	<input type="text"/> Litros L <input type="text"/> Vatios W
Largo	<input type="text"/> Cm		<input type="button" value="CALCULAR"/>
Altura del Líquido	<input type="text"/> Cm		

Mínimo - Limpieza de aceites livianos, Polvo, Piezas planas con líquido tensioactivo, fosfatizado
Mediano - Limpieza de grasas viejas, piezas con orificios sin salida, Oxido liviano
Máximo - Limpieza de piezas con oxido grueso, pinturas.

En todos los casos el liquido utilizado reduce la potencia necesaria para limpiar una pieza en un tiempo dado, mejorando la capacidad del producto limpiador o la potencia se mejora el tiempo de lavado y su eficiencia

Ejemplo:
 Podemos limpiar un filtro de gasoil que contiene incrustaciones sólidas y depósitos gomosos con agua, un tensioactivo y un equipo de máxima potencia, o con un solvente max un cresol con un equipo de mínima potencia.

Fig. 3.19. Determinación de la potencia de trabajo de la lavadora ultrasónica

<http://www.anser.com.ar/calculous.htm>

Medidas del tanque			Energía	Litros y Vatios		
Ancho	<input type="text" value="16"/>	Cm	<input type="button" value="Minimo"/> <input type="button" value="Medio"/> <input type="button" value="Maximo"/>	Litros	<input type="text" value="1.768"/>	L
Largo	<input type="text" value="17"/>	Cm		Vatios	<input type="text" value="34.94071146"/>	W
Altura del Liquido	<input type="text" value="6.5"/>	Cm		<input type="button" value="CALCULAR"/>		

Fig. 3.20. Cálculo de potencia eléctrica de los transductores

<http://www.anser.com.ar/calculous.htm>

De los cálculos anteriores podemos ver que para realizar el proceso de lavado con 1,75 lt, a un régimen de trabajo medio, se necesitan 35 W de potencia en el transductor, por este motivo se ha seleccionado un transductor piezoeléctrico de 40 KHz con 50 W de potencia de la compañía Amerizan Piezo. (www.americanpiezo.com).

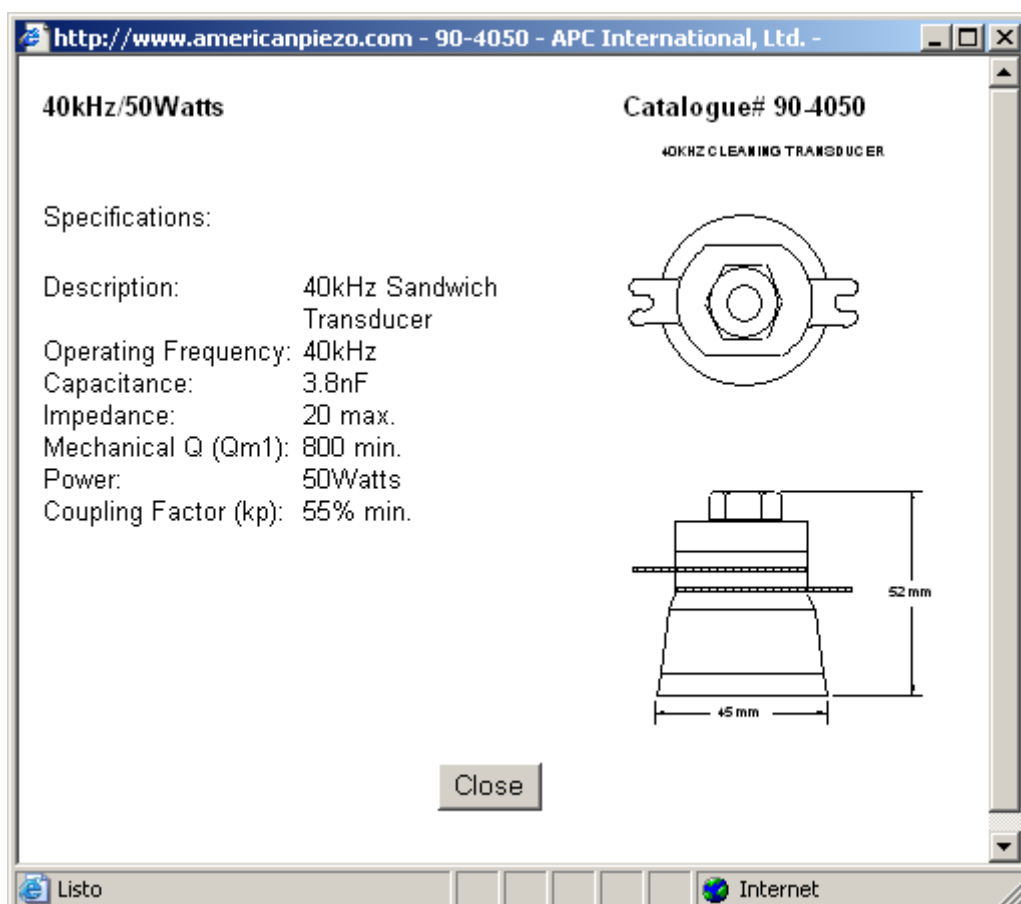


Fig. 3.21. Hoja de Datos del transductor piezoeléctrico de 40 KHz

www.americanpiezo.com/products/ultrasonic_cleaning

3.4.2. SELECCIÓN TAMAÑO Y POTENCIA DE LAS NIQUELINAS.

Las resistencias planas (niquelinas) que van a realizar el proceso de calentamiento, deben ser calculadas en tamaño y potencia que deben entregar para ser capaces de calentar el líquido de la batea en un determinado tiempo.

Para este propósito se utilizó la ayuda de una aplicación de la página web <http://www.resistencias.com/esp/formulas.php>, en donde se colocan los datos de volumen, calor específico y tiempo de calentamiento, y nos arroja la potencia que deben tener las resistencias.

Fórmulas de instalación

» Cómo calentar un volumen sólido, líquido o gas en un tiempo determinado

Este cálculo no tiene en cuenta las eventuales pérdidas caloríficas.

P = Potencia a instalar en kW
 V = Volumen a calentar en l.(o dm³)
 p = Peso en Kg/dm³
 Vp = Peso a calentar en Kg
 t₁ = Temperatura inicial en °C
 t₂ = Temperatura final en °C
 Cp = Calor específico en Kcal/Kg x °C
 T = Tiempo de calentamiento en horas.
 1.2 = Coef. de seg. considerando tolerancias sobre tensión del sector y sobre valor óhmico de la resistencia.

$$P = \frac{V * p * Cp * (t_2 - t_1) * 1,2}{860 * T}$$

Pulse aquí para Calcular la Potencia

» Cálculo de los W/cm²

W/Cm² = Carga de la superficie W/cm²
 P = Potencia del cartucho calefactor (W)
 S = Superficie (cm²) = diametro (unidades en cms)

$$W/Cm^2 = \frac{P}{S}$$

Pulse aquí para Calculo de los W/cm²

Materiales usuales	(ninguno) ▾	Temperatura Inicial usual	<input type="checkbox"/>
V	Volumen a calentar en litros(ó dm ³) ▾		2
p	Peso en Kg/dm ³		1
t₁	Temperatura inicial en °C		21
t₂	Temperatura final en °C		40
C_p	Calor específico en kcal/Kg x °C		1
T	Tiempo de calentamiento en minutos ▾		NaN
Borrar el contenido		Calcular	

$$P = \frac{V * p * C_p * (t_2 - t_1) * 1,2}{860 * T} = \text{[]} \text{ kW}$$

Materiales usuales		(ninguno) ▾	Temperatura Inicial usual <input type="checkbox"/>
V	Volumen a calentar en	litros(ó dm3) ▾	2
p	Peso en Kg/dm ³		1
t ₁	Temperatura inicial en °C		21
t ₂	Temperatura final en °C		40
C _p	Calor específico en kcal/Kg × °C		1
T	Tiempo de calentamiento en	minutos ▾	0.25
Borrar el contenido			Calcular

$$P = \frac{V * p * C_p * (t_2 - t_1) * 1,2}{860 * T} = 0.21209302325581 \text{ kW}$$

Fig. 3.22. Cálculo potencia requerida de niquelinas

<http://www.resistencias.com/esp/formulas.php>

De este cálculo se obtiene que necesitamos 212 W para calentar un volumen de 2 lt de agua en 15 minutos (0.25 horas), pero como el líquido de trabajo tiene una capacidad calorífica mayor que el agua y el volumen que se va a calentar en la bandeja es menor a 1.3 lt, entonces la potencia que se necesita seria de 140 W, con lo que podemos obtenerla de dos niquelinas planas de 11 x 5 cm de 70 W de potencia.

3.4.3. UNIÓN TRANSDUCTOR, NIQUELINAS Y BANDEJA INOXIDABLE.

Para realizar el pegado del transductor a la bandeja de ultrasonido se va a utilizar una resina especial que debe soportar una temperatura superior a los 60 °C.

En el mercado nacional se pudo conseguir una resina que sirve para pegar metal con metal y que soporta hasta 93° C, esta resina conocida como PC 11 MARINE GRADE de la empresa PCProducts (www.pcepoxy.com) es la que se utiliza para realizar la adherencia entre la bandeja de acero inoxidable y el transductor piezoeléctrico. Entre ellos se colocará una malla fina de poliuretano para garantizar mejor adherencia.

Las niquelinas serán adheridas en las partes laterales de la batea inoxidable utilizando la misma resina que para el transductor, y por seguridad se colocará silicona roja encima de la resina para garantizar un buen pegado.

En este proceso de adherencia se utilizó una prensa manual para garantizar una buena adherencia entre los metales.

3.4.4. TARJETAS ELECTRÓNICAS PCB

Una vez que se ha explicado por separado cada uno de los circuitos que conforman las acciones y controles de este proyecto, se puede realizar el diagrama electrónico general. Para este propósito nos hemos ayudado de los programas Proteus VSM 6.3 Profesional y de Protel XP, el primero de ellos para dibujar los diagramas y simular los circuitos electrónicos y el segundo para diagramar el circuito final y realizar las placas PCB con un autoruteo del programa.

En la siguiente figura podemos apreciar el diagrama electrónico general del proyecto a construirse.

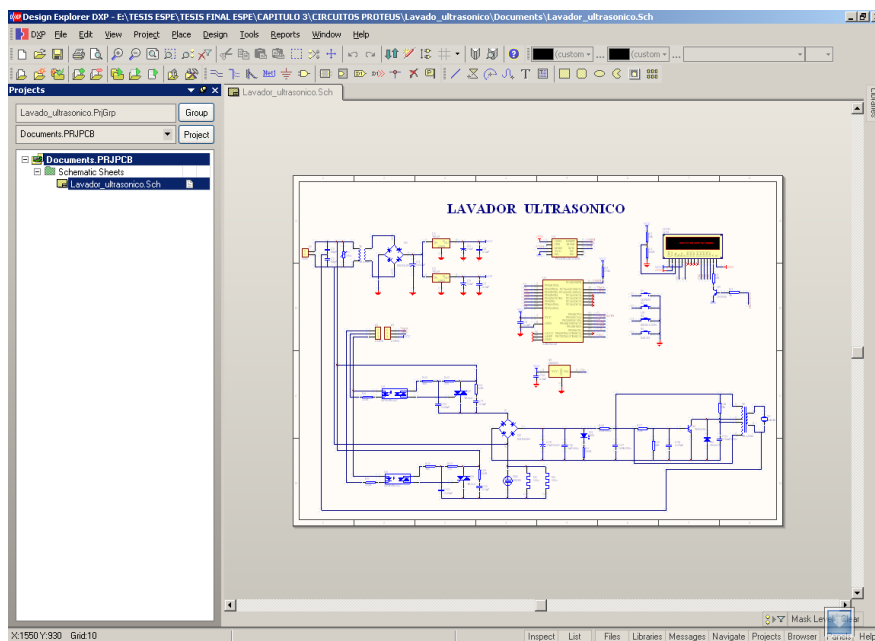


Fig. 3.23. Pantalla del diagrama Electrónico General PROTEL DXP

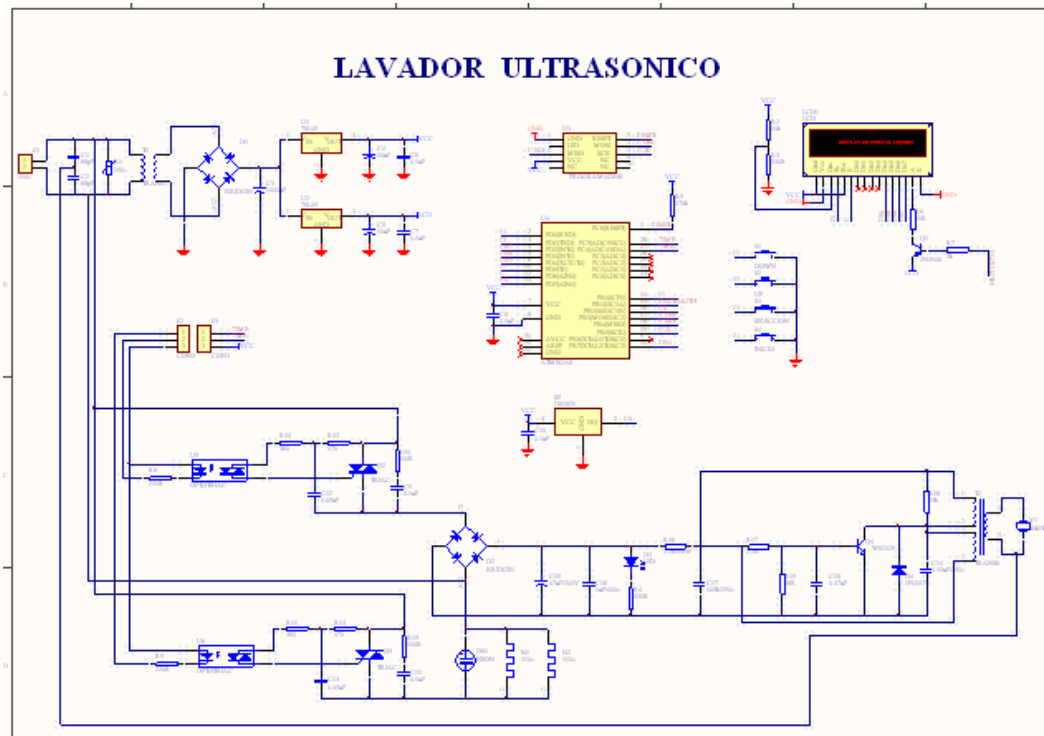


Fig. 3.24. Diagrama Electrónico General

Con la ayuda de este software Protel DXP, obtenemos las placas PCB, las cuales se las ha separado en dos:

- a) La primera que contiene la pantalla de cristal liquido LCD y los controles de mando.
- b) La segunda es la tarjeta generadora del ultrasonido, es decir, contiene el circuito del oscilador de bloqueo.

El transformador 110VAC/12VAC de 3A se lo colocará fuera de las tarjetas electrónicas, y su alimentación entrará a las mismas.

A continuación se observa las placas PCB obtenidas del programa y ya fabricadas como un circuito impreso mediante fotograbado.



Fig. 3.25. Placa PCB de la tarjeta generadora de ultrasonido

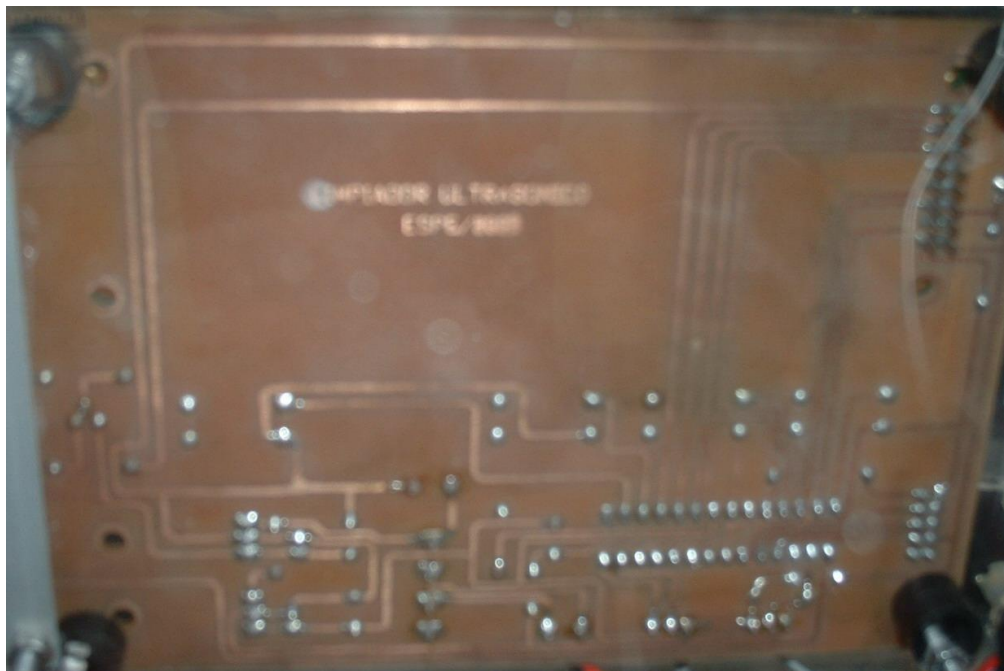


Fig. 3.26. Placa PCB de la tarjeta de control y pantalla LCD.

De la misma manera, podemos ver las placas una vez que se realizó el montaje de todos los componentes utilizados.



Fig. 3.27. Tarjeta completa generadora de ultrasonido



Fig. 3.28. Tarjeta de control y pantalla LCD

3.4.5. ESTRUCTURA DE SOPORTE

Para la construcción de la estructura de soporte se va a utilizar acrílico transparente, para así poder tener una mejor visualización de la tarjetas electrónicas y del funcionamiento de las mismas. Se utilizará un acrílico de espesor 3 mm.

Para evitar que si el líquido de la bandeja se derramara y se pusiera en contacto con las tarjetas electrónicas produciendo un cortocircuito, se ha diseñado la estructura de tal manera que por debajo de la batea de lavado no exista otro componente más que el transductor piezoeléctrico.

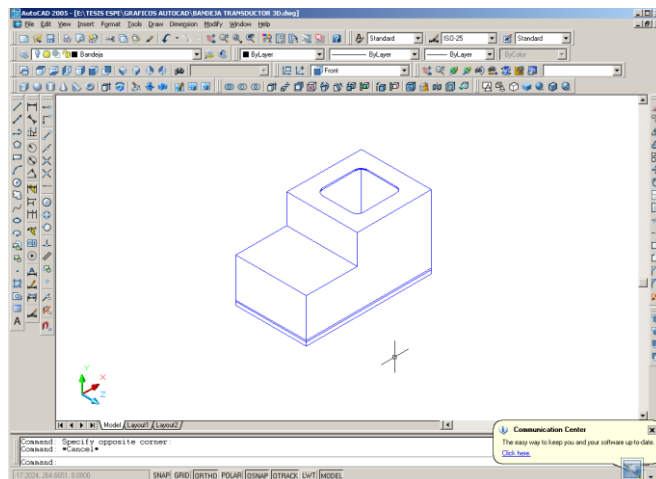
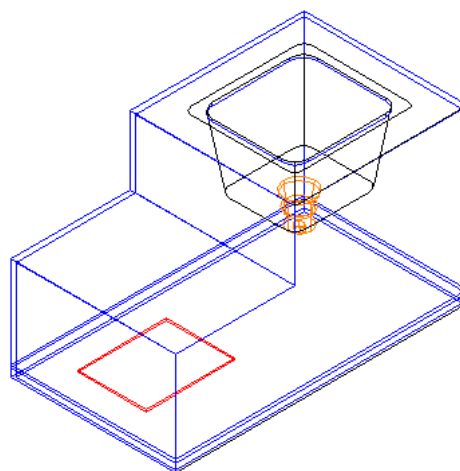


Fig. 3.29. Diagrama Estructura en Autocad



Transductor; Circuitos Electronicos; Bandeja Inoxidable; Mueble acrílico

Fig. 3.30. Diagrama 3D Estructura soporte Ultrasonido

El cuerpo de acrílico será unido mediante un ángulo de aluminio de $\frac{1}{2}$ " , para así poder realizar un montaje y desmontaje fácil y rápido de las caras de la caja de acrílico.

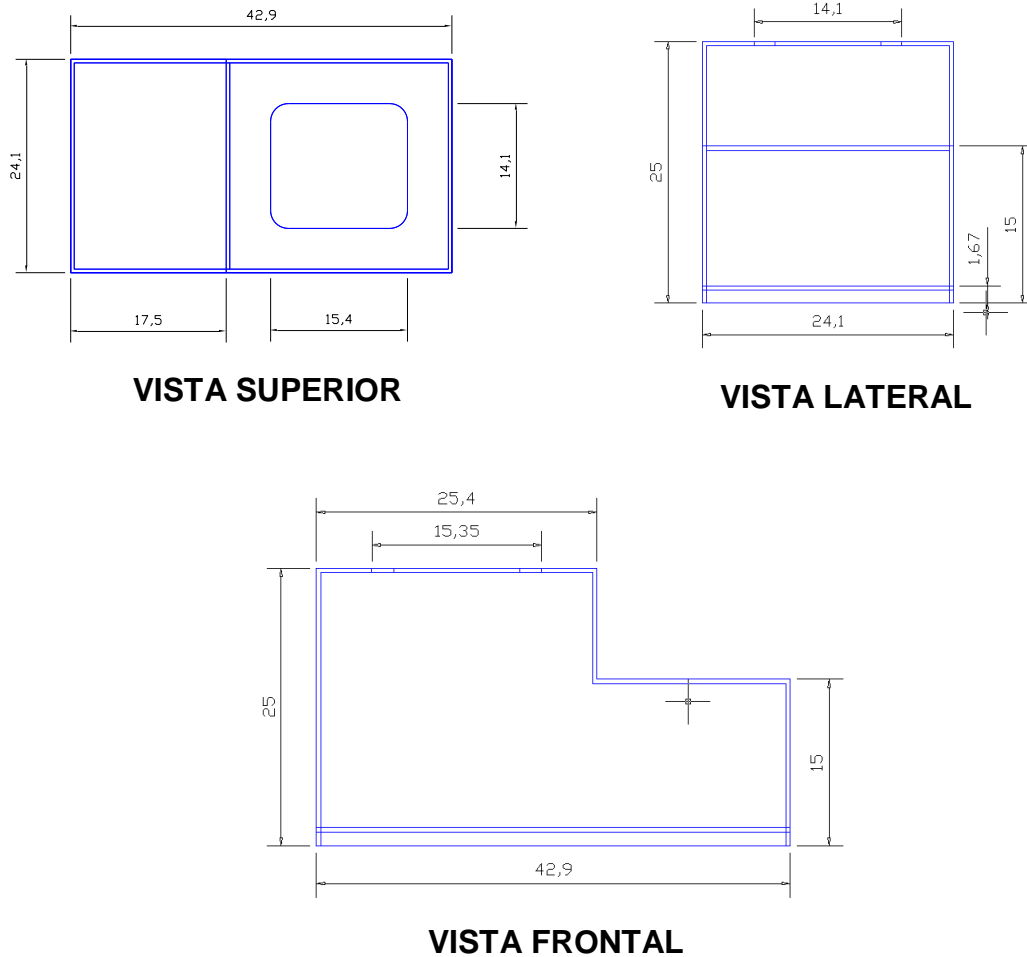


Fig. 3.31. Planos Estructura soporte Ultrasonido

3.4.6. EQUIPO CONSTRUIDO.

Una vez que se ha construido todos los elementos: tarjetas electrónicas, bandeja con niquelinas y transductor y la estructura de acrílico se procede al montaje.

Una vez terminado el montaje, obtenemos fotografías el equipo construido.



Fig. 3.32. Fotografía equipo construido Vista Frontal

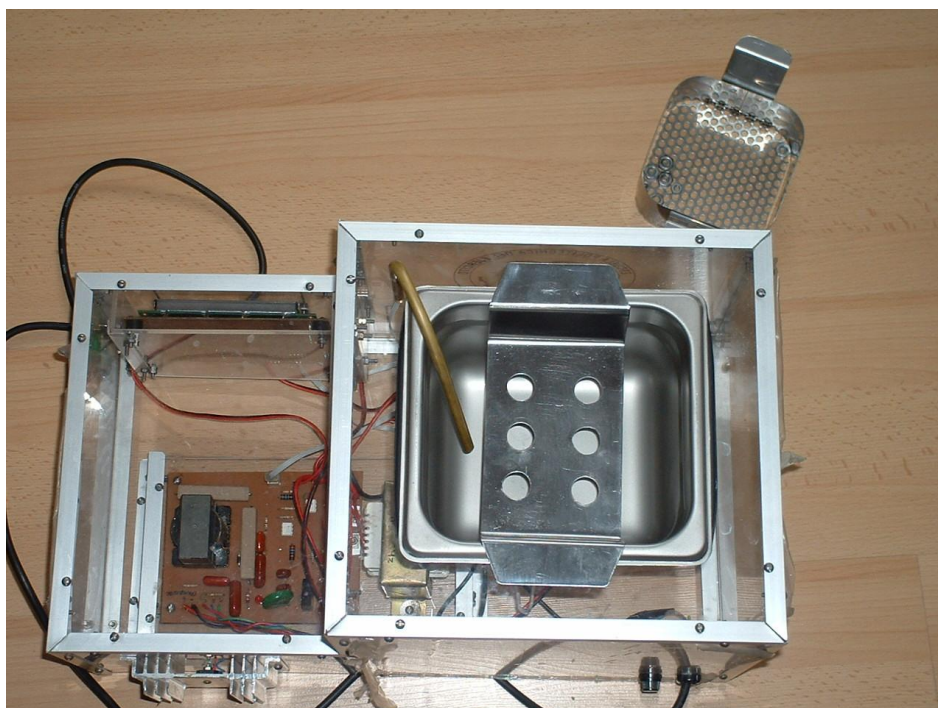


Fig. 3.33. Fotografía equipo construido Vista Superior

Las pruebas de funcionalidad del equipo se las realizará en conjunto con las pruebas del banco de pruebas para inyectores.

CAPÍTULO 4

PREPARACIÓN METALGRÁFICA DE MUESTRAS Y SU LIMPIEZA

4.1 INTRODUCCIÓN A LA METALGRAFÍA

La metalografía, es el estudio de micro estructuras, esta ha sido una herramienta valiosa para el progreso de la ciencia y la industria en los pasados tres siglos. La cuestión podría ser planteada, Por qué la Metalografía? La primera, la respuesta más obvia sería que una parte o estructura no puede ser diseñada para criterios críticos de un lote determinado de material que no está dentro de la especificación. La metalografía es una herramienta valiosa importante que puede ser una ayuda precisa para:

- a) Control de Calidad para procesamiento de materiales, producto del material y hardware.
- b) Determinar las razones para la falla.
- c) Tecnología avanzada.
- d) Previsión para mejores demandas.

4.2 REQUISITOS

La clave para obtener una interpretación precisa de una micro estructura es un espécimen apropiadamente preparado que realmente represente el material examinado.

La definición de una superficie metalográfica adecuadamente preparada establece que la sección debe:

- a) Ser plana, libre de fisuras, óxido y otras imperfecciones que tienden a echar a perder la superficie.
- b) Contener todas las inclusiones no metálicas intactas.
- c) No mostrar viruta o asperezas de compuestos inter metálicos quebradizos.
- d) Estar libre de todo vestigio de metal estropeado.

Para garantizar el logro de tales superficies verdaderas, la preparación debe ser efectuada no solo con precisión sino con un claro entendimiento de lo que se debe hacer durante cada etapa específica.

4.3 FASES DE PREPARACIÓN

El método más directo es dividir todo el proceso en series lógicas involucradas y el propósito de las mismas.

4.3.1 ETAPA 1.- SECCIONAMIENTO

La remoción de una muestra de la pieza original.

4.3.2 ETAPA 2.- DESVASTADO GRUESO

Producción de una superficie plana inicial.

4.3.3 ETAPA 3.- MONTAJE

Empotrar la muestra en un medio plástico para facilitar la manipulación y otros factores tales como fragilidad, preservación del filo, etc. Esta etapa es a veces omitida para ciertos métodos de preparación o en casos donde no serviría a propósito alguno.

4.3.4 ETAPA 4.- PULIDO FINO

Remover la zona de deformación causada por el Seccionamiento y el desvastado Grueso y limitar las profundidades de la deformación durante esta etapa mediante la secuencia abrasiva apropiada.

4.3.5 ETAPA 5.- PULIDO GRUESO

Posterior limitación de la zona de deformación producida por el Desvastado Fino.

4.3.6 ETAPA 6.- PULIDO FINAL

Remoción de la zona de deformación durante el Pulido Grueso. Cualquier zona producida en esta etapa debe ser mínima y generalmente será removida durante el grabado de agua fuerte.

4.4 MÉTODOS DE PREPARACIÓN

Cualquier material puede ser preparado mediante **PREPARACIÓN MECÁNICA**, existen métodos manuales o semiautomáticos. La secuencia de etapas previamente definida es necesaria en su totalidad para este particular procedimiento.

PULIDO ELECTROLÍTICO.- puede a menudo ser usado como alternativo para Pulido grueso o pulido final o toda la mejora después del Pulido Final por otros métodos.

PULIDO DE SUSPENSIÓN (ATAQUE DE AGUA FUERTE).- suplirá tanto al pulido Grueso como al Pulido fino en algunos casos y al Pulido final en otros.

PULIDO QUÍMICO.- es usualmente empleado después del Pulido Final.

La elección de cualquier método depende del material a ser preparado y particularmente a la fase de relaciones y la distribución dentro de la micro estructura existente.

4.5 DEFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE

Durante el seccionamiento, Desvastado Grueso y en menor medida durante el Desvastado Fino, resulta una zona metálica deformada por la abrasión. Aunque este zona sea transitoria, la abrasión ha hecho que el material exceda el límite elástico y en consecuencia, deformación plástica permanente. Daño posible detectable para técnicas de seccionamiento apropiadas.

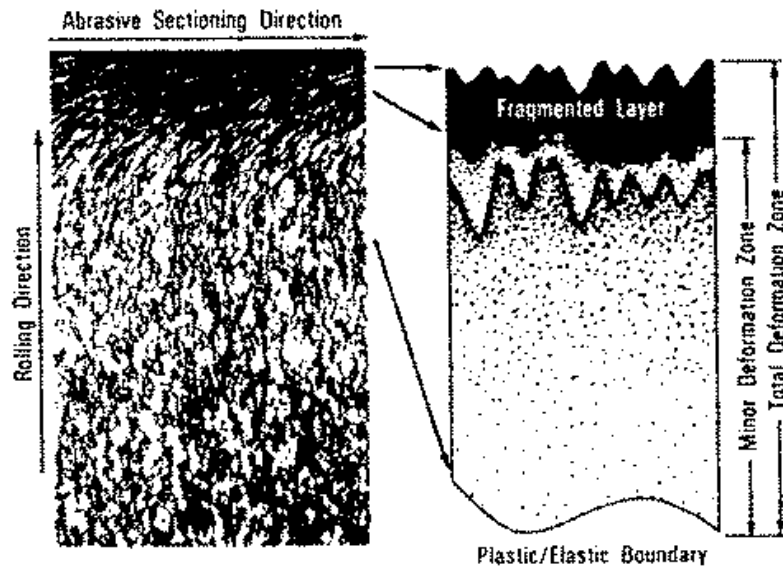


FIG. 4.1. Deformación por abrasión y excede el límite plástico

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

Según L.E. Samuels, los efectos de la abrasión crean una capa fragmentada donde los granos de superficie se fraccionan en sub-granos con una orientación de preferencia. Muchos límites de esfuerzos intermedios se extienden en rayos desde los contornos "V" de las fisuras.

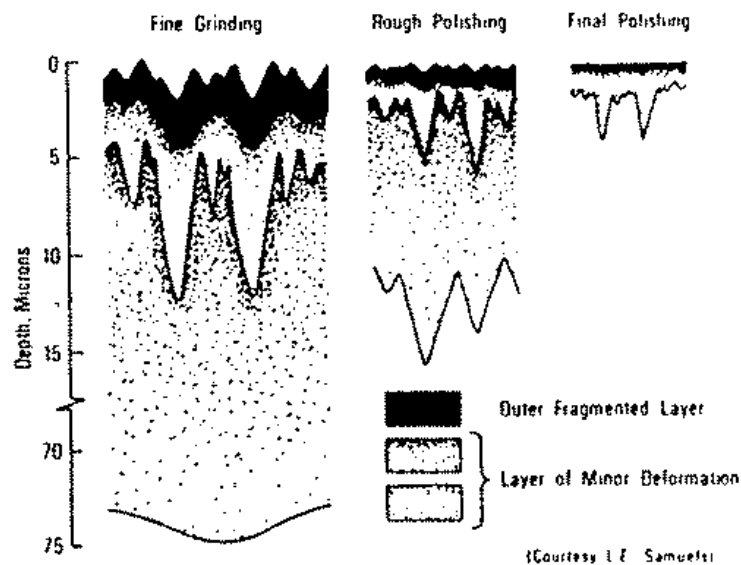


Fig. 4.2. Efectos de la abrasión por etapas

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

Estos niveles de esfuerzo disminuyen cuando se acerca al límite plástico. Estos límites de esfuerzo no están distribuidos uniformemente ya que la acción abrasiva y la profundidad de fisura resultante de cada grano varía debido al tamaño, forma, dureza y resistencia dinámica.

Un cálculo conservador sería que la deformación plástica nunca sería menor a cincuenta veces la profundidad de la fisura.

A la conclusión del Pulido Grueso y el Pulido Final, el espesor de la capa fragmentada inducida y la zona acompañante de menor deformación han sido disminuidas ligeramente. Los límites elásticos plásticos serán entonces el contorno de las fisuras originales.

La profundidad de fisura y deformación total de zona pueden ser consideradas inversamente proporcionales a un incremento en la dureza del material.

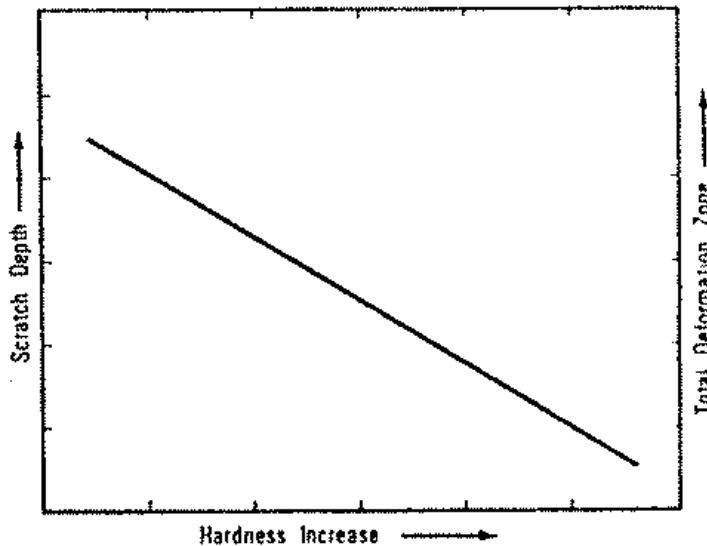


Fig. 4.3 La fisura y deformación inversamente proporcionales a la dureza del material

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

4.6 PRESIÓN

Hay dos factores que contribuyen a la presión aplicada contra una muestra, la carga aplicada externamente y la presión adhesiva creada por la tensión de superficie del vehículo (lubricante, extensor). Estas presiones son importantes ya que controlan la profundidad de la fisura y en consecuencia la profundidad total de la deformación.

Para tamaños abrasivos más gruesos utilizados en las etapas de Desvastado Grueso y Desvastado fino, la distancia entre el espécimen y la falda es relativamente grande debido al tamaño de partícula. En estos casos, la presión efectiva principal es el peso del espécimen y la carga aplicada exteriormente.

Con tamaño de partícula en uso general para pulido, la distancia de falda de espécimen se convierte significativamente menos y esta distancia se aproximará al diámetro de la partícula. Consideraciones teóricas muestran una fuerte elevación en la presión adhesiva.

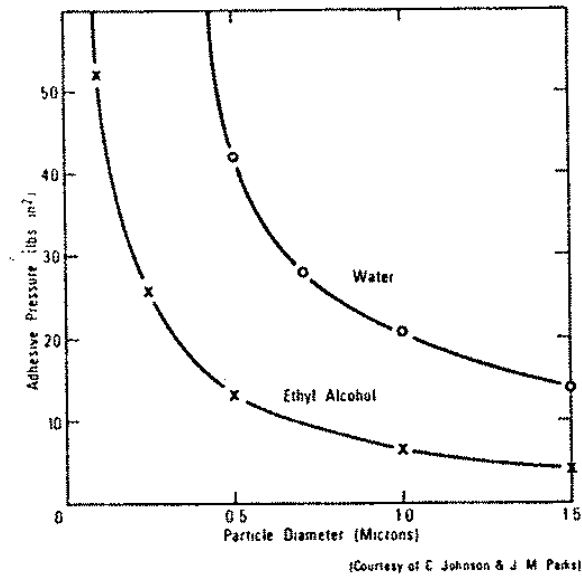


Fig. 4.4 Presión adhesiva vs Diámetro de partícula.

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

Cada tamaño y tipo abrasivo deben ser considerados por si mismos con respecto a la máxima presión factible y esta mostrará un aumento con una disminución en el tamaño de partícula. Dentro de límites de presión razonables, la profundidad del daño es afectada ligeramente. Por lo tanto, es deseable emplear la presión alta correspondiente para obtener cantidades máximas de remoción.

4.7 CANTIDAD DE REMOCIÓN

La cantidad de remoción de material aumentará linealmente con la presión hasta un punto crítico y luego disminuye gradualmente.

La escala de tamaño grueso (50-180 arena/350-70 micrones) comúnmente utilizada para materiales abrasivos para Desvastado Grueso no tiene la suficiente resistencia dinámica para prevenir la fractura. Cuando la fractura ocurre debido a presión excesiva, la superficie puede volverse impregnada con partículas fragmentadas.

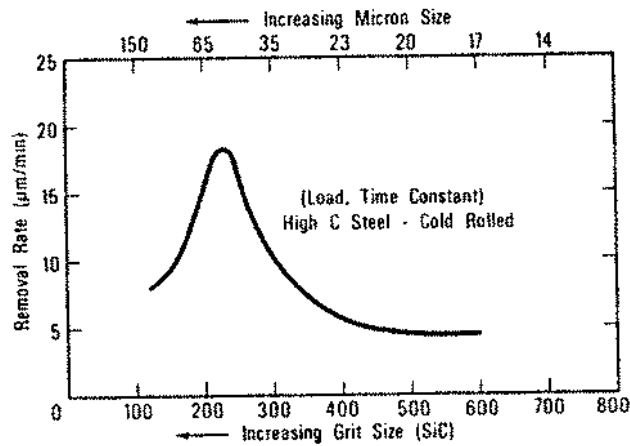


Fig. 4.5 Punto crítico de la remoción del material.

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

Dicha fractura puede tener bajas cantidades de remoción para tamaños de 120 y 180 de arena. En secuencia metalográfica normal, el uso de dichos tamaños abrasivos es por fortuna inevitable. Se puede iniciar de inmediato con una arena de 240 que tenga mucha mayor cantidad de remoción, profundidad menor de fisura y en consecuencia una disminución en la profundidad total de la deformación.

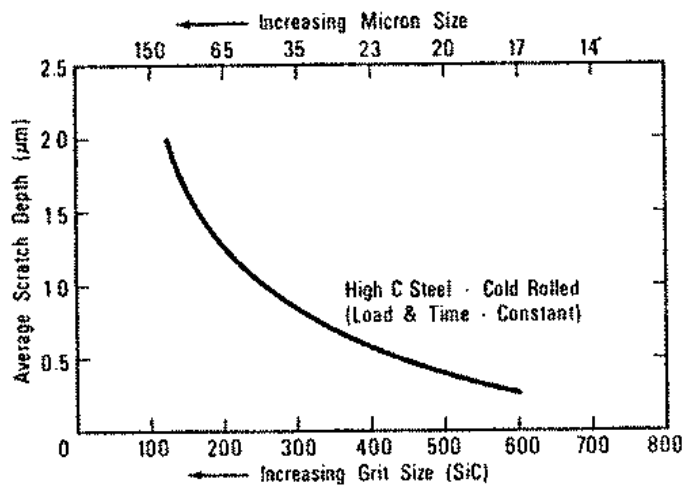


Fig. 4.6 profundidad promedio de fisura vs incremento de tamaño de arena.

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

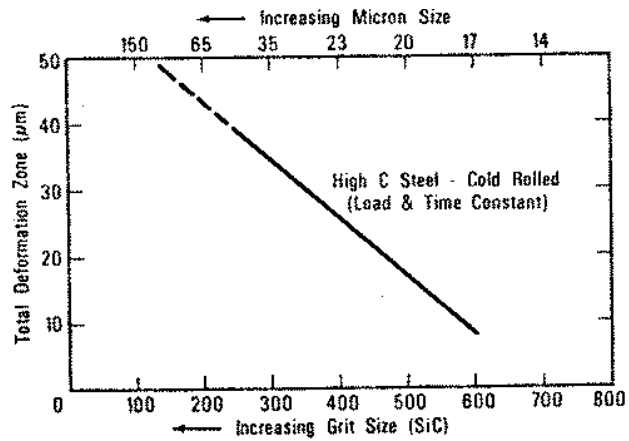


Fig. 4.7 Deformación total de la zona vs incremento de tamaño de arena.

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

4.8 TAMAÑO ABRASIVO

Las escalas de tamaño abrasivo aplicables a varias etapas de preparación se miran en la siguiente tabla. Valores de tamaño comparativos para las familias abrasivas más empleadas aparecen en la tabla 4.1 a la 4.4.

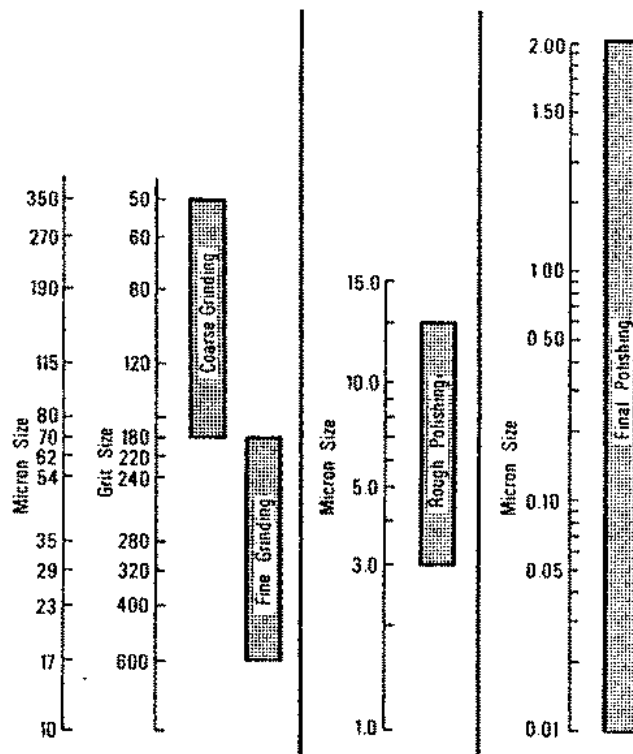


Fig. 4.8 Escalas de tamaño abrasivo.

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

Grit No.	Particle Size (AV. μm)			
	USA	FEPA*		
	Sieve Series	Commercial	F-Series	P-Series
50	350	324		
60	270	274		
80	190	194		
120	115	115		
150	80	97		
180	70	81		
220	62	58		
240	54	49	49.3	58.5
280	35	41	41.5	52.2
320	29	34	34.4	46.2
400	23	29	23.0	35.0
600	17	20	14.3	22.8

*Federation Europeane des Fabricants
des Produits Abrasifs

Tabla 4.1 Tamaño de partículas.

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

Table II.
EMERY

Grit No.	Particle Size (AV. μm)
3	85
2	70
1	50
1/0	33
2/0	30
3/0	28
4/0	25

Tabla 4.2 Esmeril.

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

Table III.
DIAMOND PASTES

Micron Size* (μm)	Size Range (μm)	Mesh Equivalent (Approx.)
1/10**	0-1/0
1/4**	0-1/2	100,000
1/2	0-1	60,000
1	0-2	14,000
3	2-4	8,000
6	4-8	3,000
9	8-12	1,800
15	12-22	1,200
30	22-36	600
45	36-54	325
60	54-80	230 - 325
90***	170 - 230

* National Bureau Standards

** Ultra fine grades, not covered by NBS

*** ANSI B 74.16 - 1971, not covered by NBS

Tabla 4.3 Pegas de diamante (tamaño, rango y equivalencias).

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

Table IV.
A. POLISHING POWDERS

Type	Particle Size (μm)	Application
Gamma Alumina	0.05	Final Polishing
Alpha Alumina	0.3	Final Polishing
Alpha Alumina	1.0	Rough and/or Final Polishing
Magnesium Oxide	2.0	Final Polishing

Tabla 4.4 A Familias abrasivas mas empleadas (polvos).

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

B. POLISHING SUSPENSIONS

Type	Particle Size (μm)	Application
Levigated Alumina	5.0	Rough Polishing
Gamma Alumina	0.05	Final Polishing
Alpha Alumina	0.3	Rough and/or Final Polishing
Chrome Oxide	1.0	Rough Polishing
Chrome Oxide	0.05	Final Polishing
Chrome Oxide*	0.05	Final Polishing
Cerium Oxide**	0.05	Final Polishing

* Trade Name CRO,
Chrome Oxide / Cerium Oxide Blend

** Trade Name Finish-Pol,
Cerium Oxide / Aluminum Oxide Blend

Tabla 4.4 B Familias abrasivas mas empleadas (suspensión).

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

4.9 ETAPAS DE PREPARACIÓN

Las etapas de preparación son:

- 1.- Seccionamiento.
- 2.- Desvastado grueso.
- 3.- Montaje.
- 4.- Desvastado fino.
- 5.- Pulido grueso.
- 6.- Pulido final.

4.9.1 SECCIONAMIENTO

Seccionamiento es la remoción de un área representativa de la pieza original. La micro estructura no debe ser alterada en el proceso. El trabajo en calor o en frío son las condiciones más probables que causarían cambios rápidos en la estructura.

4.9.1.1 Seccionamiento Abrasivo de Alta Velocidad

Operaciones obvias tales como cortar con sierra o cortar de golpe no son preferibles debido a la deformación producida. El corte abrasivo ofrece la mejor solución para eliminar o disminuir el calor y la deformación.

Para cortar apropiadamente, se debe adaptar una rueda abrasiva a la máquina de corte. Consideraciones principales son velocidad de superficie (SFM) para un diámetro dado de rueda y el tipo de sistema de enfriamiento empleado. La selección debe hacerse de la familia apropiada de ruedas abrasivas que cumplan con los requisitos para la amplia variedad de materiales y los niveles de dureza. Las principales variables de control y guía para la selección de ruedas puede clasificarse como sigue:

- a) Grano abrasivo. Tipo Al_2O_3 o SiC, Grano de Arena
- b) Adhesión, Resinoide, resina/Caucho
- c) Dureza de Adhesión: Suave, Mediana, Dura
- d) Densidad(estructura): Abierta, Densa.

4.9.1.1.1 Grano Abrasivo

Oxido de aluminio es generalmente recomendado para seccionamiento de aceros y materiales de alta resistencia. Abrasivos de carbono de silicio son utilizados para algunos grados de materiales no ferrosos, Titanio, Zirconio, Uranio y sus aleaciones.

Sin importar la dureza de la adhesión, los tamaños gruesos de arena producirán una acción más dura. Sin embargo, la acción del corte será más

abierta cuando el espacio del corte sea mayor. Arenas más finas resultan en una acción más suave y una superficie más lisa.

4.9.1.1.2 Adhesión

El propósito del material de adhesión es mantener los granos abrasivos en el sitio. En general, se utiliza ruedas de caucho adherido para operación húmeda y son los más adecuados para especímenes metalográficos. Pegamentos resinoides son usados para corte seco. Resina/Caucho puede utilizarse húmedo o seco para corte húmedo o seco y pueden ser económicos.

Para corte limpio y rápido, el pegamento debe desgastarse o fraccionarse rápidamente lo suficiente para exponer los nuevos granos abrasivos.

Ruedas de pegado más suave son utilizadas para seccionamiento de metales duros y aleaciones mientras que las ruedas de pegados más duros son usadas para materiales más suaves. Cuando la dureza de pegado aumenta, el desgaste de rueda disminuye.

La cantidad de fraccionamiento de pegado se relaciona con varios factores:

- (a) Dureza de pegado.
- (b) Dureza y moldeado de la muestra.
- (c) Tamaño y velocidad de rueda abrasiva.
- (d) Potencia del motor.
- (e) Tipo, cantidad y método de aplicación de enfriamiento.
- (f) Cantidad de presión aplicada a la rueda.

4.9.1.1.3 Enfriamiento

Enfriamiento suficiente y apropiado es muy importante. Chorro de alto volumen o corte sumergido son dos técnicas importantes utilizadas. El tamaño de sección, material y dureza dictan cual método debe emplearse. El corte sumergido tenderá a hacer que el pegado de rueda sea más fuerte.

4.9.1.1.4 Velocidad de Rueda

La velocidad (SMF) debe ser considerada cuidadosamente tanto en el diseño de un corte como en la selección de ruedas para un corte determinado. En general un pegado de rueda determinado actuará más fuerte cuando la velocidad aumenta.

4.9.1.1.5 Desgaste de Borde de Rueda

Puede ser utilizado como una buena guía para indicar si la rueda apropiada ha sido seleccionada.

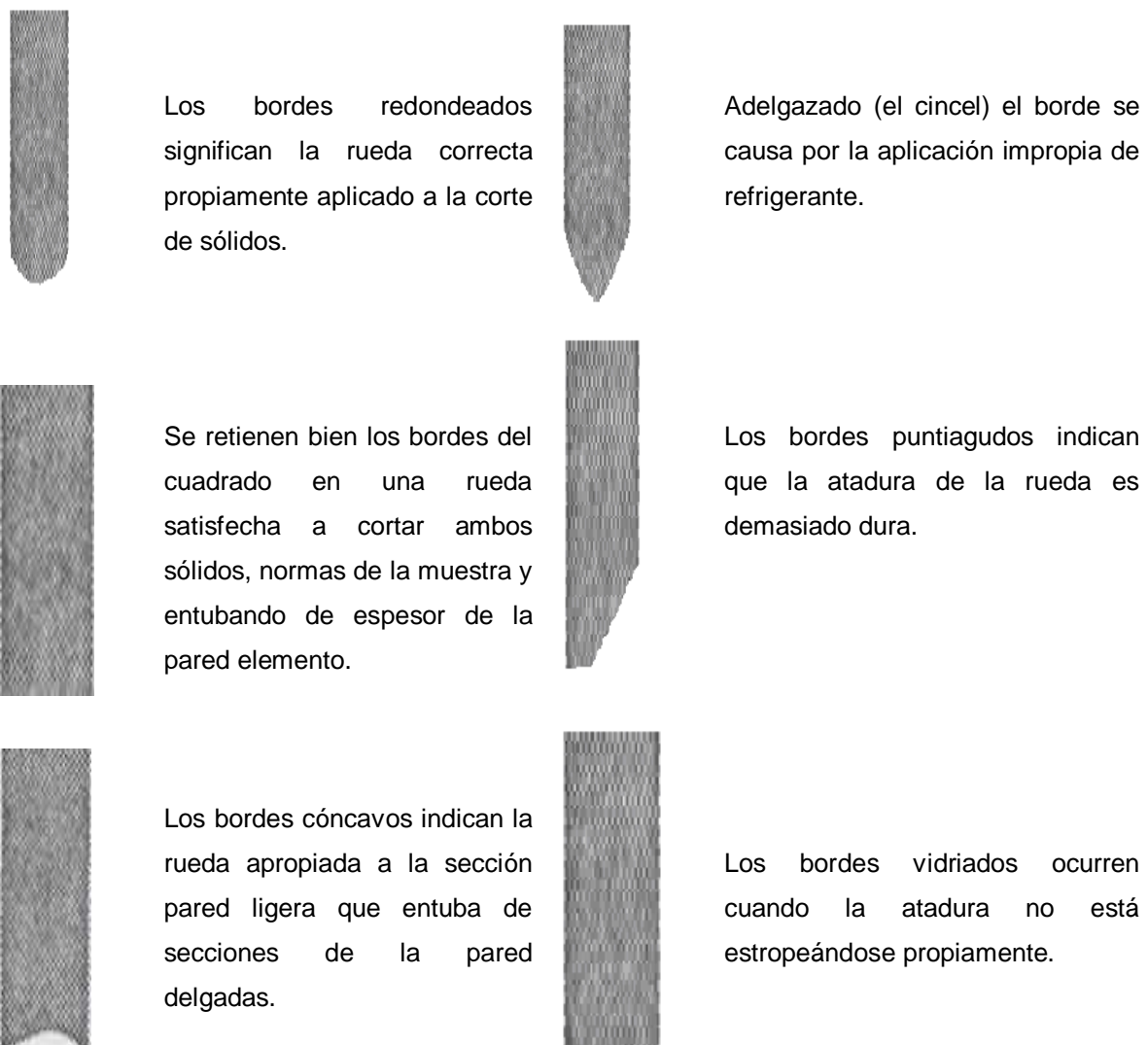


Fig. 4.9 Desgaste de borde de rueda

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

4.9.1.2 Baja velocidad, deformación de baja velocidad, seccionamiento de precisión.

La técnica de seccionamiento de baja velocidad para especímenes metalográficos y de tipo relacionado es modelada por los principios de la industria de piedras preciosas.

Se utiliza ruedas de diámetro pequeño, de cuatro a seis pulgadas de borde de diamante. La escala de velocidad es 0-1000 RPM y la escala de carga, 0-1000 gramos. La técnica es aplicable para muchos tipos de materiales. La respuesta es excelente para metales y no metálicos, suaves, duros, quebradizos, dúctiles, porosos, configuraciones simples o complejas, compuestos, etc.

Las superficies resultantes son extremadamente lisas con muy poca deformación de superficie. Las tendencias hacia figuración en interfases dúctiles-quebradizos en materiales laminados no existen. Las fases quebradizas dentro de una microestructura compleja no tienden a “parar” o “estirar”.

4.9.2 DESVASTADO GRUESO

El propósito del Desvastado Grueso es remover la deformación producida durante el Seccionamiento y brindar la superficie plana inicial. Un propósito secundario puede a menudo ser remover las cantidades gruesas de material de superficie para preparación de micro muestra o macro grabado de agua fuerte.

El proceso es efectuado en bandas abrasivas o ruedas giratorias cubiertas. La escala de tamaño es 50 a 180 de grano de arena. Se recomienda agua como enfriador para evitar sobrecalentamiento del espécimen y lavar los productos de remoción de la superficie, manteniendo así el grano abrasivo agudo expuesto en todo tiempo.

Bandas abrasivas y discos existen en carbono de silicio y óxido de aluminio con adhesión de resina para operación húmeda o seca. Materiales revestidos con

granate son los únicos confiables con pegamiento de goma y pueden ser utilizados solamente secos.

La acción abrasiva es muy agresiva con esta escala de grano. Con Desvastado Grueso de mayor velocidad, es decir, más pies de superficie por minuto, el acabado de superficie resultante se acercará al producido por un tamaño de grano más fino. Por ejemplo, una superficie terminada con grano 60/5200 SMF sería equivalente al producido por grano 120/2500 SMF.

Una superficie que parece lisa y brillante no necesariamente tiene la menor cantidad (de menor profundidad) de deformación. Una apariencia aparentemente mejorada puede deberse a esmerilado o lijado de la superficie por partículas abrasivas no por el corte limpio. El desvastado con superficies abrasivas desgastadas o cargadas producirá mayor deformación de superficie.

4.9.3. MONTAJE

La fase de montaje no siempre es requerida en la preparación de muestras metalográficas.

Para mayores detalles de esta fase de montaje, revisar los anexos de este documento. (ver Anexo E “Proceso de Montaje de Muestras”).

4.9.4. DESVASTADO FINO

Los abrasivos utilizados para Desvastado Fino son Carbono de Silicio, esmeril u óxido de aluminio. Generalmente, abrasivos de tipo fijo son usados, es decir, el grano abrasivo es pegado a un papel o respaldo de tela. El material adhesivo puede ser goma, resina o resina sobre goma. Materiales de Carbono de Silicio y Oxido de Aluminio existen sea con papel no impermeable o con respaldo de goma o resina para operación seca. Revestimientos de esmeril son solo fabricados con adhesión de goma.

La preferencia para operación húmeda que ofrece una acción de lavado para evitar que la superficie se congestione con productos de remoción. El lavado también ayuda a filos de corte de granos abrasivos expuestos.

Grano abrasivo de Carbono de Silicio cuando se usa húmedo tiene remoción dos veces el grado correspondiente de esmeril y brinda mucha mayor deformación de mediana profundidad.

Oxido de aluminio tiene un valor de dureza inferior que Carbono de Silicio que podría exhibir mayor resistencia dinámica y por lo tanto disminuir los valores de corte o fractura y la profundidad de efecto consiguiente.

4.9.5. PULIDO GRUESO

Esta etapa puede ser considerada la más importante en toda la secuencia de preparación. La naturaleza del tipo abrasivo empleado debe permitir el tamaño perfecto y preparación mediante varios métodos en fracciones de tamaño de partícula uniforme.

4.9.5.1. Abrasivos

Abrasivos de diamante están dentro de la categoría anterior. Otras propiedades contribuyentes son alta dureza, calidad de inerte y bajo coeficiente de fricción. Las partículas de diamante retienen su forma y tamaño durante abrasión y producen una cantidad uniforme y alta de remoción de material con mínimo daño de superficie inducida. Las cantidades de remoción a menudo exceden a las producidas durante la secuencia de Desvastado Fino.

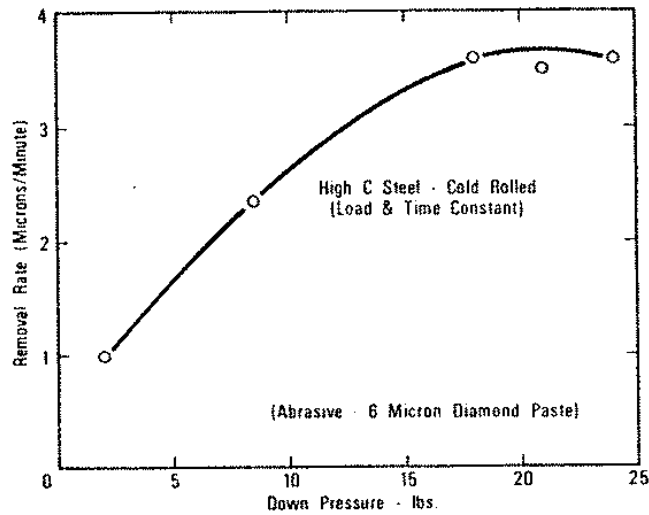


Fig. 4.10 Proporción de levantamiento vs Baja presión .

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

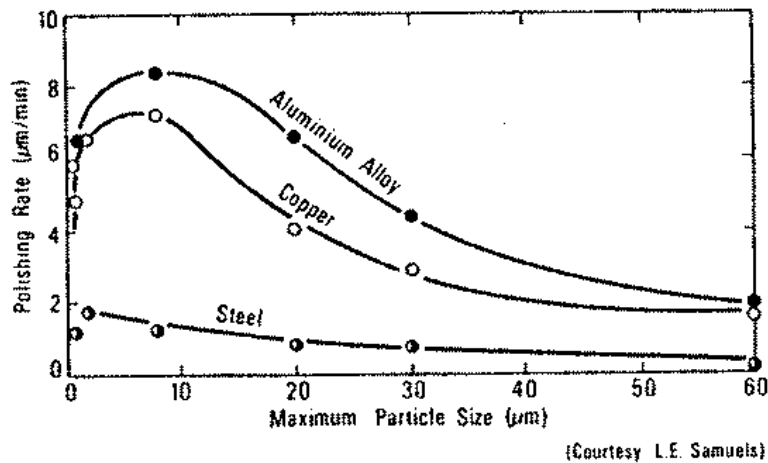


Fig. 4.11 Proporción de Pulido vs Máximo tamaño de partícula.

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

4.9.5.2. Medio de Suspensión

El medio de suspensión para polvos de diamante es muy importante ya que brinda suspensión de partícula, contribuye a lubricación y cantidad de remoción. Algunos ajustes en viscosidad del medio deben hacerse para varios tamaños de partículas para compensar posibles cambios drásticos en generación de calor.

Medios solubles de aceite o agua promueven superiores cantidades de lubricación y remoción en comparación con suspensiones. La razón es que las partículas están dispersas uniformemente y se mantienen en una –suspensión definida. El material pastoso facilita la carga conveniente de la superficie del revestimiento de pulido y la adición de más contribuciones para distribución de partículas sobre la misma.

4.9.5.3. Selección Abrasiva

Un abrasivo suficientemente grueso debe seleccionarse para cumplir esta etapa en un tiempo mínimo. El factor tiempo grandemente influye en los efectos de relevo. Sin embargo, la selección del tamaño depende mucho de los tamaños de partícula y tipos de material a ser usados en operaciones subsiguientes.

Los tamaños de partícula están en el tamaño total 0-10 micrones. La clasificación de 6 micrones producirá la mayor remoción para la mayoría de los materiales. Una fuerte remoción en los materiales bajo condiciones similares se espera para escalas de menos micrones y sub micrones.

Como se estableció previamente, las cantidades de remoción aumentan linealmente con la presión hasta un punto crítico.

A la conclusión del Pulido Grueso, la superficie de la muestra mostrará naturalmente fisuras de dimensiones visibles y habrá deformación localizada asociada con estas fisuras.

4.9.5.4. Revestimientos de Pulido

El tipo de revestimiento utilizado en esta etapa tiene mucha importancia sobre el resultado final. Es imperativo que el alivio entre micro constituyentes de dureza variada y las interfases de montaje de muestra sea mantenido al mínimo. Revestimiento sin pelusas tales como nylon, algodón, materiales

químico-textiles, etc., deben utilizarse. Los revestimientos de esta naturaleza mantendrán alivio y subcorte en interfases en un mínimo como no existen. La selección debería además ser tal que el revestimiento en sí no produzca ningún artefacto abrasivo. La dureza del material siendo preparado es el punto guía.

4.9.6. PULIDO FINAL

Una etapa de Pulido Final previamente establecida sirve para remover cualquier zona de deformación resultante de Pulido Grueso. Aquí se debe producir la uniformidad de pulido y la superficie libre de fisuras.

Se debe tener cuidado para garantizar la remoción de cualquiera y toda deformación de superficie. Si esto no se efectúa, las fisuras aun pueden aparecer y en una mayor medida si no se cumplieron algunas etapas anteriores adecuadamente.

Las fisuras pueden también ser evidentes después de grabado con agua fuerte. Esto significa que la superficie deformada no fue completamente removida. El ataque de agua fuerte será más severo y de preferencia a lo largo de esas regiones de deformación localizada ya que poseen mayores niveles de energía de superficie.

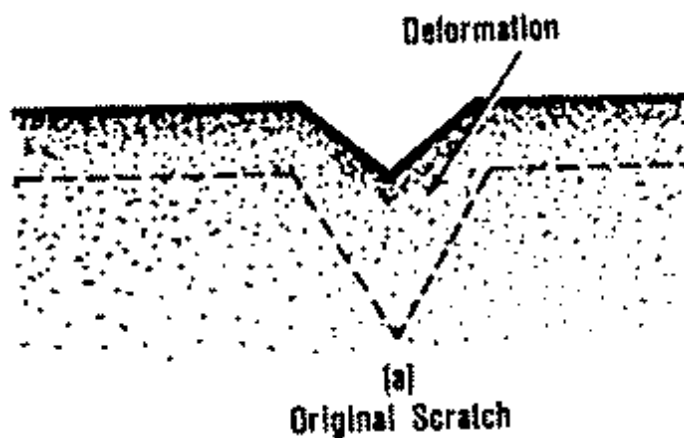


Fig. 4.12 Deformación (fisura original).

Fuente: [Catálogo LEVCO Secc. A](#)

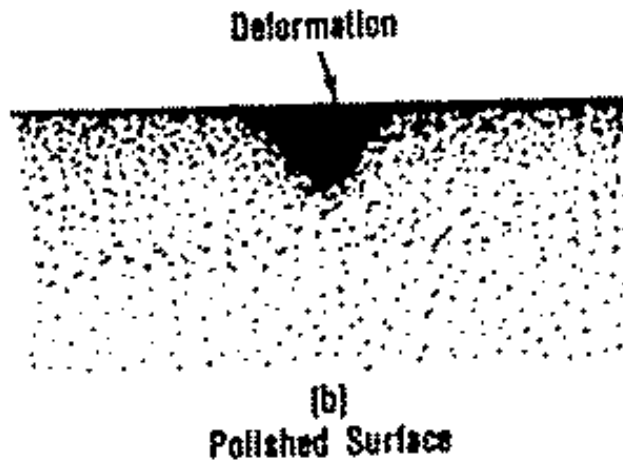


Fig. 4.13 Deformación (superficie pulida).

Fuente: [Catálogo LEVCO Secc. A](#)

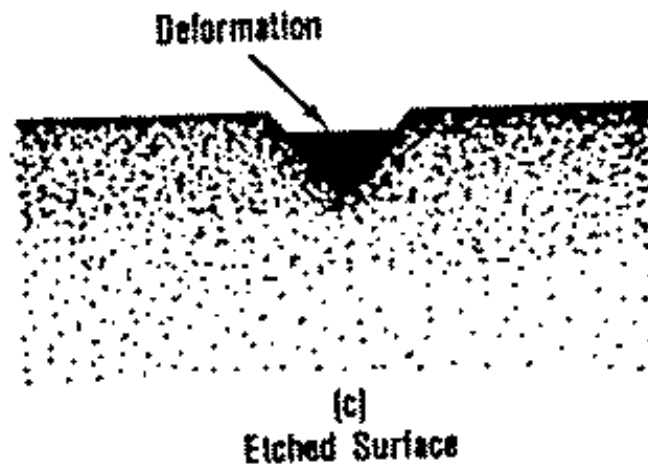


Fig. 4.14 Deformación (superficie tratada con agua fuerte).

Fuente: [Catálogo LEVCO Secc. A](#)

Una serie prolongada de agua fuerte alterna y repulido generalmente no se aconseja como un medio para remover la deformación. Las tendencias de efecto de alivio pueden crecer con aumento en número de ciclos de repulido de agua fuerte. El alivio puede también ser atribuible a ataque preferencial de las áreas deformadas localizadas o ataque selectivo de ciertas fases u orientaciones de grano.

Los pasos para el pulido final son:

- 1.- Abrasivos.
- 2.- Revestimiento de pulido.

- 3.- Vehículo de pulido.
- 4.- Humedad de la rueda de pulido.

4.9.6.1. Abrasivos

Una amplia variedad de materiales abrasivos son utilizados para Pulido Final. Los más comunes son Óxido de Aluminio, Óxido de Cromo, Óxido de Magnesio, Óxido de Cerio, Bióxido de Silicio y Diamante.

Óxido de aluminio es el más utilizado. Dos tipos son disponibles, polvos pulverizados o polvos sintéticos de alta pureza. Se prefieren materiales sintéticos sea en polvo o en suspensión de un micrón y sub micrón. El tamaño de partícula y estructura cristalina dependen de la temperatura. El tipo gama, forma de baja temperatura tiene el tamaño de 0.05 micrones. Los tamaños de partícula, 1.0 y 0.3 micrones son la estructura alfa de alta temperatura. Las partículas crecen en tamaño mediante control preciso de la escala de temperatura. El tejido alfa es ligeramente más duro que la forma gama.

Materiales en base ferrosa, de cobre, titanio, zirconio y súper aleaciones son compatibles con abrasivos de aluminio. Preferencia general es para el tipo gama. Sin embargo, con algunos materiales la forma alfa puede ser utilizada rentablemente como un paso intermedio.

Otros medios comúnmente utilizados son suspensión líquida de óxido de cromo y mezclas de óxido de cromo/óxido de cerio. En muchos casos, estas no son superadas para los hierros graníticos y materiales ferrosos que contienen inclusiones complejas o cantidades gruesas de inclusiones.

Óxido de magnesio, aunque las técnicas son algo difíciles de manejar, es idealmente adecuado para muchos materiales. Aluminio, magnesio y sus aleaciones son mejor preparados con este material. El polvo tiene partículas uniformes de dureza considerable y los bordes de corte son bien definidos. Los tratamientos de calcinamiento de alta temperatura han eliminado problemas

anteriormente asociados con la subsiguiente formación de carbonatos duros. Cualquier alcalino de comprobación es soluble en agua.

Suspensiones de Óxido de Cerio son una innovación relativamente nueva como un abrasivo de pulido final. Las mezclas, particularmente con pequeñas cantidades de óxido de aluminio, son rápidamente adaptables a un gran grupo de materiales. El tamaño extremadamente fino de partícula es un atributo definido. Sin embargo, estas soluciones no han sido explotadas plenamente.

Suspensiones coloidales de dióxido de silicio han sido utilizadas con mucho éxito en la industria de al-mohadilla electrónica. El material es promisorio para metalografía, pero, reitero, los esfuerzos no han sido suficientes para aplicaciones plenas posibles.

Abrasivos de diamante tienen varios niveles de tamaño por debajo de 4-10 micrones (3 micrones promedio, 1 micrón promedio, 0.25 micrones promedio). La elección lógica sería el grado de sub-micrón ya que no sería un paso demasiado grande del tamaño utilizado en Pulido Grueso. Los grados de 3 micrones y de 1 micrón solo serían usados si se desea un paso intermedio. El acabado producido por el diamante más fino es generalmente solo para aplicaciones de rutina. Los resultados son más satisfactorios cuando la dureza total del material aumenta.

4.9.6.2. Revestimiento de Pulido

Tejidos con pelusa son generalmente preferidos para esta operación. Desafortunadamente, las fibras son compresibles y por lo tanto tienden a formarse en la superficie del espécimen bajo la más leve presión. Debido a este tipo el contacto con las fases o granos más suaves con una cierta orientación tienen una mayor cantidad de remoción que las fases más duras o granos con orientaciones que difieren. Dichos efectos pueden ser evitados o disminuidos con selección abrasiva para acortar el elemento tiempo.

4.9.6.3. Vehículo de Pulido

Agua destilada o destilada y desionizada es generalmente utilizada como la suspensión o vehículo para esos materiales que son clasificados bajo la categoría de óxido metálico.

Los óxidos metálicos son de naturaleza básica. Condiciones de pulido ideales están presentes cuando las soluciones son pH7 neutrales. Precauciones son necesarias cuando están presentes considerables diferencias electro-químicas entre áreas o fases de un espécimen. Agua fuerte severa de fase anódica puede ocurrir si el vehículo se vuelve ionizado.

Con materiales altamente reactivo o relaciones de fase, a veces es necesario elegir un vehículo polar tal como glicol de etileno. Sin embargo, la cantidad de pulido puede reducirse grandemente. Por lo tanto, se necesita observaciones cuidadosas cuando los vehículos son alterados para compensar cualquier ataque químico que puede ocurrir durante el pulido.

El problema no existe con abrasivos de diamante en vehículos de aceite ya que las partículas son inertes y el aceite no es ionizable.

4.9.6.4. Humedad de la Rueda de Pulido

La humedad del tejido con extensores tipo agua tiene mucho que ver en el resultado final. Si el tejido está demasiado húmedo, la muestra puede mostrar hoyos; si está demasiado seco, puede resultar bruñido/manchado.

Para determinar la humedad apropiada, retire la muestra de la rueda y verifique el tiempo necesario que la película de pulido se seque. En general, esto debería tomar no más de cinco a ocho segundos. Para verificar la adición abrasiva, note el color y consistencia de la película. La película debe no ser opaca, sino suficientemente transparente para revelar la forma y el lustre de la muestra.

Cuando se usa abrasivos de diamante, las mejores cantidades de remoción son ampliadas por extensores de aceite de baja viscosidad. El tejido debe siempre mostrar un ligero exceso de vehículo para garantizar buena lubricación y remoción de materiales abrasivos.

4.10 MANIPULACIÓN

4.10.1. DESVASTADO FINO

Con procesamiento manual, la muestra es sujeta firme con los dedos. El movimiento es en línea recta por la superficie hacia o lejos del operador. Cuando se ha logrado destreza manual, se puede realizar movimiento en dos direcciones.

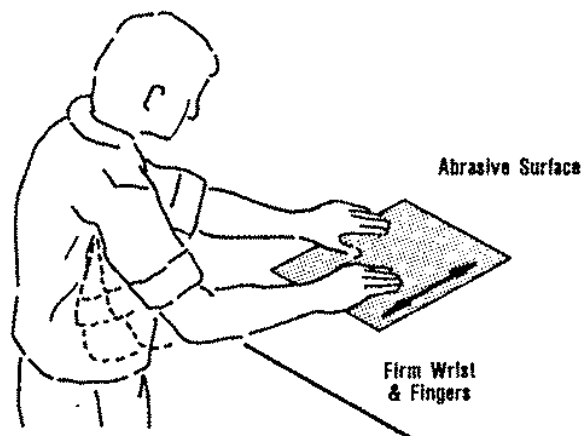


Fig. 4.15 Manipulación del material.

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

El operador debe estar ubicado para permitir libre paso del codo por el costado del cuerpo para coordinación lineal entre el hombro y las articulaciones del codo.

Las articulaciones de dedos y muñeca deben permanecer rígidas y la línea del hombro fija para ayudar al control de la presión y producir una superficie plana sin ningún labrado.

El espécimen se gira a 45^a entre pasadas abrasivas. El propósito es doble; indicar cuando las fisuras abrasivas del paso anterior han sido removidas y prevenir el labrado.

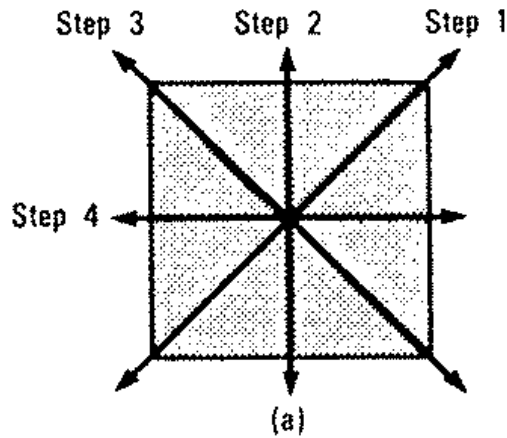


Fig. 4.16 Pasos para girar 45°.

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

4.10.2. PULIDO GRUESO Y FINAL

La rotación de la rueda de pulido es normalmente anti-horaria. La muestra debe ser movida en dirección horaria alrededor de toda la superficie de pulido para evitar: (1) Huellas direccionales, (2) “Cola de pez” de ciertas inclusiones de tipo conocido, (3) “halado” fases pobremente consolidadas dentro de una microestructura, dicha manipulación también brinda igual remoción de material en toda la superficie.

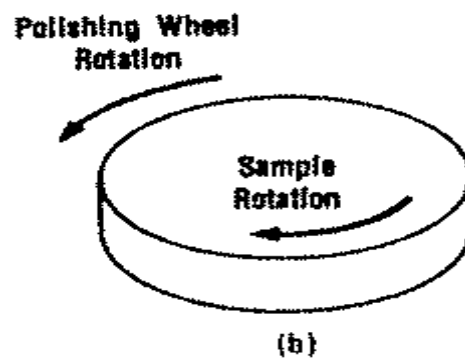


Fig. 4.17 Rotación de la rueda de pulida y de la muestra.

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

4.10.3. PRESIÓN

Se ha hecho indicaciones previas sobre la presión. Como una generalización total, las presiones máximas factibles deben ser utilizadas para producir cantidades de remoción máximas.

4.11 GENERALIDADES DE LIMPIEZA EN MUESTRAS METALOGRAFICAS

La limpieza es uno de los requisitos más importantes en la preparación de la muestra. Resultados finales desalentadores o insatisfactorios son más a menudo detectables para el descuido más que por materiales defectuosos. Las muestras deben ser limpiadas cuidadosamente entre cada etapa de preparación para evitar contaminación por parte de abrasivos más gruesos que son transportados hacia una etapa abrasiva más fina.

El rol de la limpieza incluye las manos y el equipo del operador. La distribución del laboratorio debe ser tal que las etapas abrasivas extremadamente gruesas sean aisladas de las etapas que incluyen material abrasivo más fino. Las ruedas de pulido deben ser mantenidas cubiertas cuando no están en uso.

Unos pocos minutos al final de cada día de trabajo deben ser reservados para limpieza general y monitoreo del equipo. Los resultados de lo anterior son compensadores.

4.11.1. LIMPIEZA ULTRASÓNICA

La Limpieza Ultrasónica es el sistema más eficaz para los varios problemas de suciedad encontrados en la preparación de la muestra. Las mayores frecuencias de cristal producen menores resultados.

Hay muchos detergentes solubles en agua. Materiales comerciales excelentes y a veces más eficaces también existen.

El uso de soluciones de amoníaco no es aconsejable ya que muestran tendencias de grabado de agua fuerte con numerosos materiales.

Resultados finales superiores se obtienen si se utiliza más de un paso de limpieza. Esto puede ser efectuado con mucha facilidad por medio del uso de un recipiente de vidrio y colocando la tapa para colocarlo sobre la parte superior del tanque principal. En vista de que el recipiente de vidrio es acústicamente transparente, la energía ultrasónica es transmitida a través de la solución del tanque (agente de acoplamiento) hacia la solución de limpieza en el recipiente de cristal.

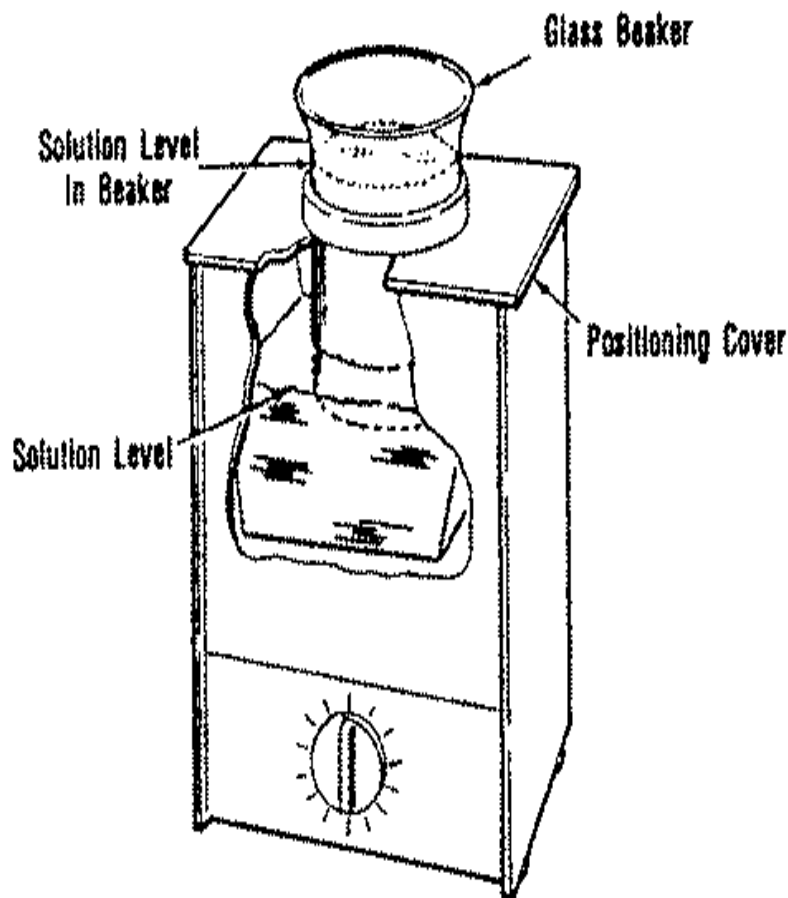


Fig. 4.18 Limpiador Ultrasónico.

Fuente: [Catálogo LEVCO Secc.](#)

4.11.2. EXTRACTOR - CONDENSADOR

El sistema consta de una botella Ehrlenmeyer, una taza sifón y una bobina de condensación de vidrio que encaja en la parte superior de la botella es llenada con solvente hasta un nivel ligeramente por debajo del tubo de rebosamiento de la taza sifón. Los especímenes son colocados en la taza sifón suspendida de la espira de condensación que está conectada a una línea de agua fría.

La botella es calentada hasta punto de ebullición del solvente. Cuando ocurre la evaporación los vapores toman contacto con la espira enfriada. La condensación hace gotear el solvente dentro del sifón. Cuando el sifón se llena a un nivel predeterminado, el solvente retorna a la botella llevando los aceites y el sucio removido desde la superficie y los poros de la muestra. El reciclado provee continuamente solvente limpio.

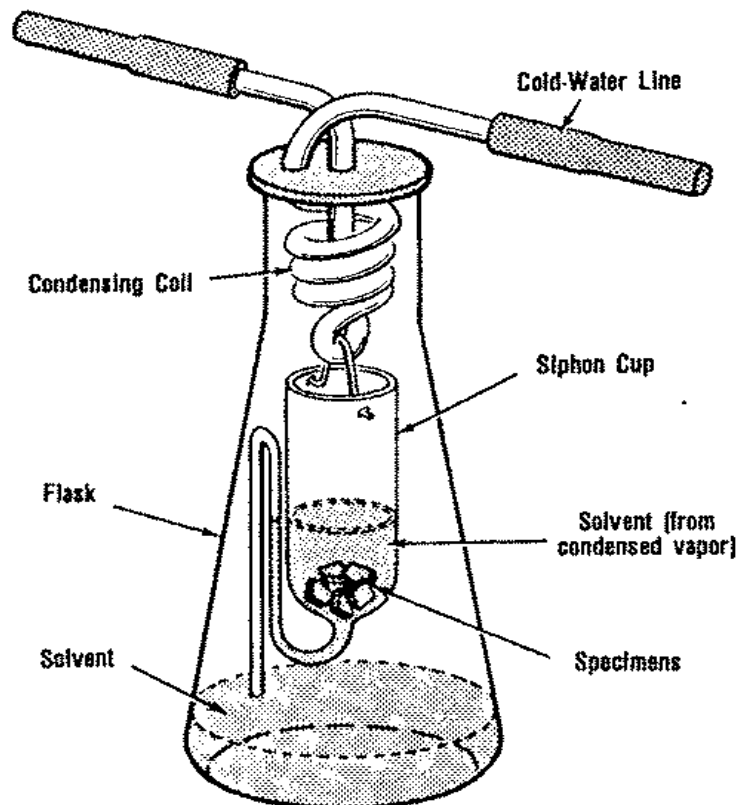


Fig. 4.19 Botella (Ehrlenmeyer).

Fuente: Catálogo LEVCO Secc. A

4.11.3. SECADO

El secado apropiado de una superficie después de la limpieza o grabado de agua fuerte es muy importante. El espécimen debe ser secado rápidamente para prevenir oxidado o corrosión. Después de enjuagar, la muestra es sumergida en igual cantidad de alcohol y secada en una corriente de aire seco caliente. Con materiales porosos, será muy beneficioso un enjuague adicional en acetona de alta pureza después del enjuague de alcohol.

Los especímenes son generalmente enjuagados con agua caliente, después de limpieza ultrasónica. Sin embargo, algunos materiales pueden oxidarse o corroerse cuando se los lava en agua caliente. En tales casos se recomienda agua más fría.

4.12 FRACTOGRAFIA ELECTRONICA

Cuando se consideran los muchos millones de piezas metálicas que se fabrican y ponen en servicios, no es raro que algunos fallaran prematuramente. Simplemente, desde el punto de vista estadístico, no es razonable, con la practica de la Ingeniería, no esperar fallas; sin embargo, aunque el número de fallas de un componente dada sea pequeña, son importantes porque pueden afectar el prestigio del fabricante en cuanto a la confiabilidad.

Por ello se a puesto al servicio la fractografía electrónica la cual con un análisis mas detallado en el estudio de las piezas fracturadas se a podido diagnosticar de mejor manera la razón de la fractura la cual nos lleva a tratar de corregir aquello para que no vuelva a suceder cambiando la pieza o a su vez mejorar la calidad del material para la cual fue requerido.

4.12.1. INTRODUCCIÓN

Las micrografías electrónicas de barrido permiten observar las superficies de fractura a altas magnitudes en sus dimensiones, por la cual deberían tener todos los laboratorios de materiales porque constituyen la herramienta necesaria para el mejor desenvolvimiento de los ingenieros y científicos.

4.12.2. CONTRIBUCIÓN AL ANÁLISIS DE FALLAS

Con el microscopio electrónico de barrido se puede observar a la superficie dimensionada a la n veces en la cual sus principales características se ponen al descubierto y se las puede describir como fractura dúctil, frágil e ínter granular.

La fractografía es mucho mas útil cuanto mayor sea la cantidad de información que se a podido recopilar, cuando el análisis es efectivo se puede determinar el punto de partida da la fractura o el inicio de la falla del material

4.12.3. ANÁLISIS FRACTOGRÁFICO

Cuando comienza el análisis fractográfico visual se puede observar las características de la fractura y obtener los indicios preliminares de la nucleación de la fisura, mecanismos y la dirección y propagación de ella dando un acercamiento eventual de las cargas que pudieron haber actuado.

Pero el análisis real con mayor detalle es el que brinda el microscopio electrónico de barrido el cual elevando visualmente sus dimensiones se puede identificar las cavidades típicas de la rotura transgranular dúctil, y las facetas de clivaje de la rotura frágil, las superficies de corrosión bajo tensiones y las estrías de fatiga.

4.12.4. TÉCNICAS FRACTOGRÁFICAS

La observación en la fractografía permite estimar cuantitativamente las magnitudes de las tensiones actuantes como por ejemplo cuando al inicio de una zona de fatiga tenemos al principio una rotura con una fractura final rápida se puede decir que estas tensiones son altas o viceversa cuando al inicio tenemos que la zona extendida por propagaciones por fatiga es una pequeña zona de rotura final indica tensiones más bajas.

Por otra parte la fracturabilidad del material que es otro aporte de las técnicas fractográficas las cuales dan información sobre el componente fracturado, las aleaciones más bien dúctiles presentan una superficie de fractura con cavidades simples pero con material frágil tenemos una fractura de clivaje transgranular.

La fractura también está relacionada con el medio químico activo el cual estuvo expuesto al servicio durante un determinado tiempo, entonces la iniciación de rotura por corrosión da por consiguiente que la superficie contiene partículas que se observan claramente en una micrografía electrónica.

La composición de estas partículas suele determinarse con técnicas de microanálisis dispersivo en energía, la densidad de los productos de corrosión también son un indicativo de la dirección de la rotura la cual en zonas cercanas al origen pueden ser mayores porque están expuestas a mayores tiempos de corrosión.

Cuando se tiene ubicado donde se originó la fractura este será el inicio del análisis de falla, con la micrografía electrónica tenemos que la falla comenzó al interior del componente con una inclusión o inhomogeneidad microestructural del material, se deberá utilizar con mejores cualidades o características, en cambio si tenemos una rotura que comenzó en un punto mas alto de la superficie del componente, deberíamos aumentar la resistencia superficial del material con un tratamiento térmico que mejore sus características o bien mejorar su maquinado para que las imperfecciones no den pautas para una fisura.

A ciencia cierta se puede decir que al primer análisis visual del microscopio electrónico de barrido sus predicciones serán acertadas, pero en otros casos es necesario aumentar o magnificar sus dimensiones para dar un mejor diagnóstico de la rotura como en el caso de estrías de fatiga las cuales necesitan mejores ampliaciones.

En la década de los 60 el microscopio electrónico de barrido permitió una observación directa de las superficies de fractura con resolución de 10nm, en la actualidad tenemos

Microscopios de amplia profundidad de foco como zonas de aumento tan bajo de 10x o aumentos tan altos de unos 50000x, en las imágenes de microscopia electrónica de barrido también se pueden observar efectos tridimensionales que fácilmente pueden identificar elevaciones o depresiones en una única micrografía electrónica..

4.12.5. FRACTURA DÚCTIL

Cuando hablamos de fractoténacidad de un material sabemos que esta relacionado con la capacidad de deformación plástica y de energía durante el proceso de fractura por mecanismos de dislocaciones o deslizamientos.

Esta varia con cada micro estructura y estado de tensión pero en todos sus casos presenta en la superficie fractura que visualmente es reconocible, y es la que se puede caracterizar por superficie bien opaca y observada por microscopio electrónico se tiene depresiones o cavidades pequeñas (dimples) que resultan de la separación de microcavidades iniciadas al rededor de inclusiones que son discontinuidades que originan concentraciones de tensión la cual da la deformación plástica.

Durante este proceso existe microcavidades que están a tensión en los extremos de las fisuras, en las paredes las cuales separar las microcavidades se rompen y da como resultado una superficie de fractura con depresiones semiesféricas denominadas cavidades.

A continuación tenemos una fractura dúctil de un acero de bajo carbono con cavidades dimples, y se observa la deformación plástica

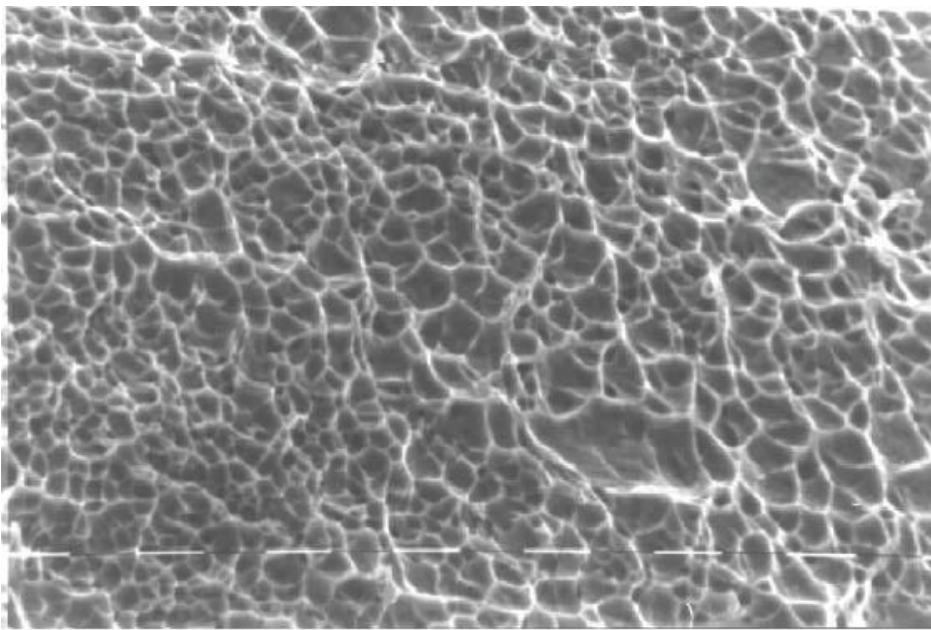


Fig. 4.20. Fractura dúctil de un acero de bajo carbono

Fuente: www.materiales-sam.org.ar

La aleación que contenga un gran número de partículas dispersas presenta una mayor densidad de cavidades que un material puro sin aleantes.

En un acero estructural es normal observar cavidades grandes originadas por inclusiones rodeadas de una distribución de cavidades mas pequeñas resultantes de microcavidades nucleadas, estas dependen del tamaño y distribución de las microcavidades originales dando su forma y profundidad, de la tensión aplicada y la fractoténacidad del material, dando como ejemplo una fractura por tracción simple.

Cuando tenemos fractura por tensiones de corte observaremos que el borde dúctil es de 45 grados de la superficie de rotura y las cavidades serán parabólicas y sentidos diferentes en dos superficies, en un desgarramiento por tracción las cavidades son alargadas pero tienen el mismo sentido en ambas superficies y apuntan a la rotura de origen, este será el caso del origen de la falla.

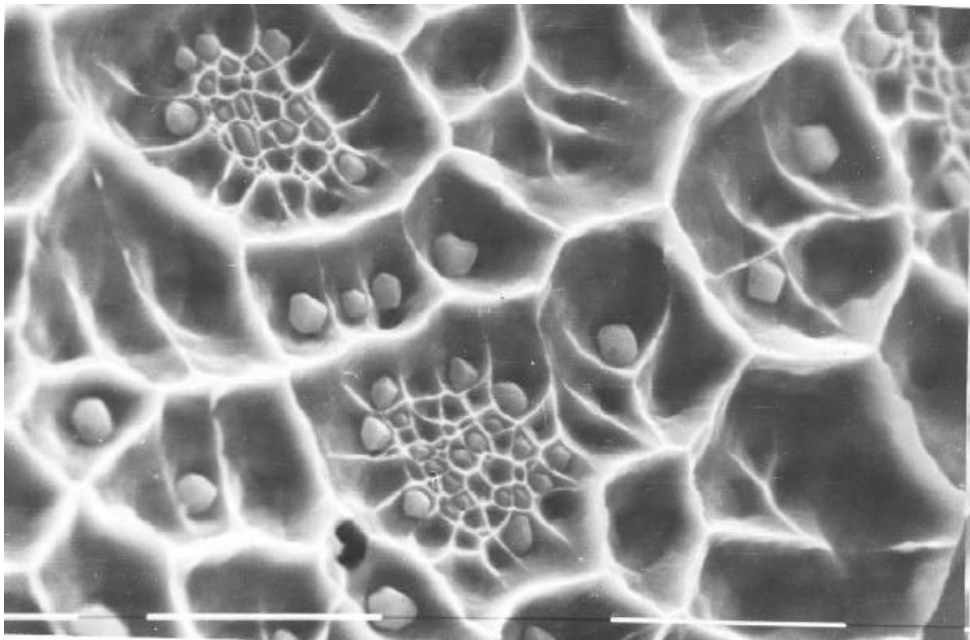


Fig. 4.21. Fractura dúctil a alta temperatura de un acero estructural

Fuente: www.materiales-sam.org.ar

4.12.6. FRACTURA POR CLIVAJE

Este podría ser el responsable de la mayoría de rupturas rápidas el cual se produce por la separación de los planos cristalográficos bien definidos que son característicos de cada estructura. En materiales policristalinos tenemos una superficie de fractura por clivaje y estas están constituidos por facetas planas de una de las familias de los planos de clivaje de granos cristalinos.

La presencia de clivaje no necesariamente indica una alta fragilidad del material, en algunos materiales dúctiles la superficie de clivaje esta bajo de tracción y las condiciones para una rotura de clivaje depende del tipo de carga y el material con altas velocidades de deformaciones y temperaturas que están debajo de la transición dúctil y frágil, también existe fractura por clivaje inducido en el ambiente corrosivo.

Se puede decir que las imperfecciones cristalinas o precipitaciones, bordes de grano tienen mucho que ver en la propagación de fisuras por clivaje y estas alteran la regularidad de las facetas en el punto de vista cristalográfico dado que la separación se produce según los planos cristalográficos, entonces tendríamos una superficie con rasgos fractograficos que la micrografía electrónica fácilmente puede identificar.

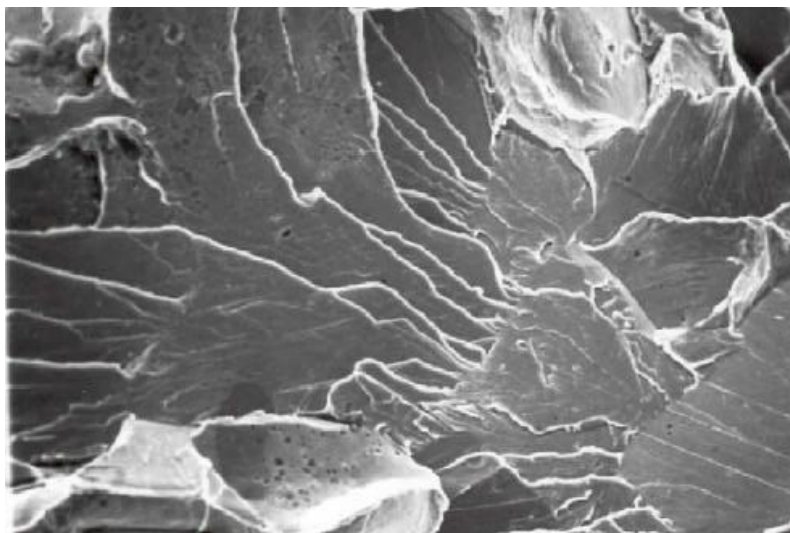


Fig. 4.22. Fractura por clivaje

Fuente: www.materiales-sam.org.ar

Se puede observar los ríos de clivaje que son fisuras que se superponen a través de un escalón que a medida que se propagan se unen en forma de escalones mas pronunciados, el conjunto de ríos dentro de un grano cristalino corresponden a planos de clivaje que pertenecen a una misma familia cristalográfica las cuales deben tener los siguientes factores:

- ✚ Intersección del plano principal de clivaje con dislocaciones de hélice.
- ✚ Fisuración secundaria
- ✚ Deformación y estrechamiento entre dos ramificaciones de la fisura principal

Como se puede observar son varios procesos que afectan la deformación de los escalones que tienen variedad de formas y ríos de clivaje.

A primera observación la dirección local de propagación de la rotura esta determinada por los ríos que convergen en la dirección de cada grano cristalino pero es necesario saber que no necesariamente debe coincidir con la dirección macroscópica de la rotura.

En granos vecinos pueden existir direcciones no paralelas dando así que la propagación en el medio cristalino se produce a través de la fractura simultánea de granos individuales en distintas direcciones y el resultado de estas fracturas constituye el frente de propagación de la rotura macroscópica.

Tenemos otro tipo de fractura llamada cuasiclivaje que nació de alguna coalescencia de microcavidades como es el caso de aceros templados y revenidos donde la superficie de fractura frágil muestra también facetas pero no tan definidas como es el caso de clivajes mencionados. En un proceso de fractura por cuasiclivaje la fractura se origina dentro de las facetas existiendo una diferencia con el mecanismo de clivaje en el cual la separación de planos se origina en los bordes de estos, puede observarse también en materiales que no tienen planos activos de clivaje, en aceros inoxidables, fractura bajo medios corrosivos, o tensiones bajas triaxiales.

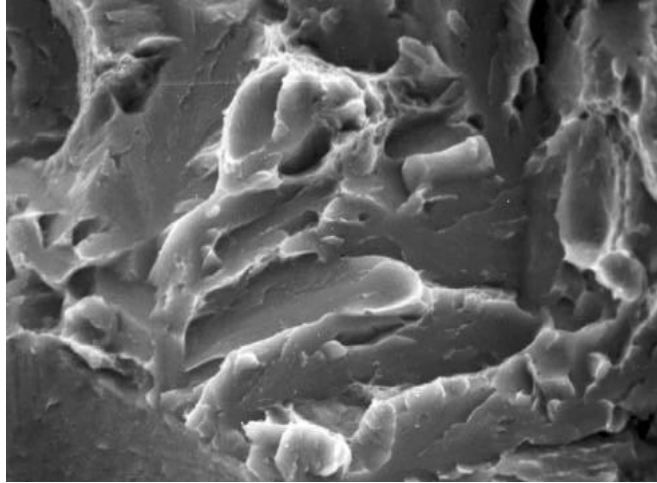


Fig. 4.23. Superficie de cuasiclivaje de un acero martensítico templado y revenido

Fuente: www.materiales-sam.org.ar

4.12.7. FRACTURA INTERGRANULAR

Esta se presenta con una superficie brillante menos que la fractura de clivaje. Cuando la fragilización intergranular convierte al grano en una zona más débil y cristalina esta fisura se nuclea y se propaga rápidamente a lo largo de las superficies intergranulares, la morfología de la superficie fracturada da un aspecto facetado que revela las formas exteriores de los granos cristalinos, en la muestra donde se puede observar los granos del material así como las regiones de fractura dúctil también se observan fisuras secundarias que corresponden a granos perpendiculares a la superficie de rotura de inicio.

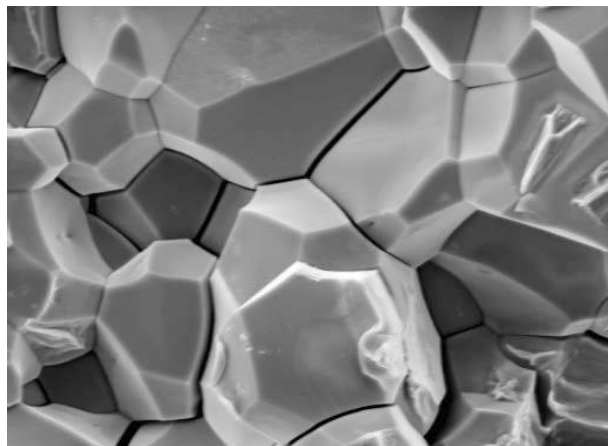


Fig. 4.24. Fractura intergranular de una muestra de titanio traccionado

Fuente: www.materiales-sam.org.ar

También existe la fractura intergranular frágil de una superficie de grano totalmente lisa sin evidencias de deformación plástica, caso típico de fragilización por hidrógeno o segregación de un producto frágil que fractura sin dejar marcas propias.

La fractura intergranular dúctil muestra evidencias de un mecanismo de nucleación y crecimiento de microcavidades asociadas a una precipitación intergranular, dando lugar a la formación de microcavidades pequeñas que cubren la superficie de grano, tales como son materiales que tienen fragilización por precipitación en borde de grano que depende de diversos factores microestructurales, tamaño, forma. Distribución, características de la interfase, a mayor densidad de precipitación, menor profundidad y tamaño entre las microcavidades establecidas.

4.12.8. FRACTURA POR FATIGA

Es una falla común en componentes estructurales originada por una tensión cíclica, esta deja normalmente marcas concéntricas centradas respecto al punto de iniciación de la rotura, reconocibles en la micrografía electrónica en bajos aumentos, en una observación a mayores aumentos muestra conjuntos en líneas paralelas que se denominan estrías de fatiga las cuales se observan en probetas de laboratorio.

Se puede demostrar que cada ciclo de carga da origen a una estría y que la distancia entre estas depende de la amplitud de la tensión, las marcas observadas microscópicamente corresponden a etapas definidas de la propagación de la fisura con ciclos de carga en cada uno y estas estrías corresponden a la propagación del frente de fisura durante un ciclo.

No siempre un ciclo de carga origina una marca visible, las estrías dependen de la ductilidad del metal y de la tensión aplicada en cada ciclo, estas son mas notorias en aleaciones de mediana dureza y en metales dúctiles como el

aluminio, en metales de alta dureza son mas bien difusas y difíciles de reconocer.

El mecanismo de fatiga se produce en varias etapas como tenemos:

- ✚ Tensiones aplicadas
- ✚ Propiedades mecánicas del material
- ✚ Geometría de la probeta o componente

La propagación de la fisura bajo condiciones de deformación plana se caracteriza por la formación de estrías en zona relativamente planas normales a la máxima tensión de tracción y están separadas entre si por bordes de desgarramiento las cuales se pueden observar en el siguiente ejemplo.

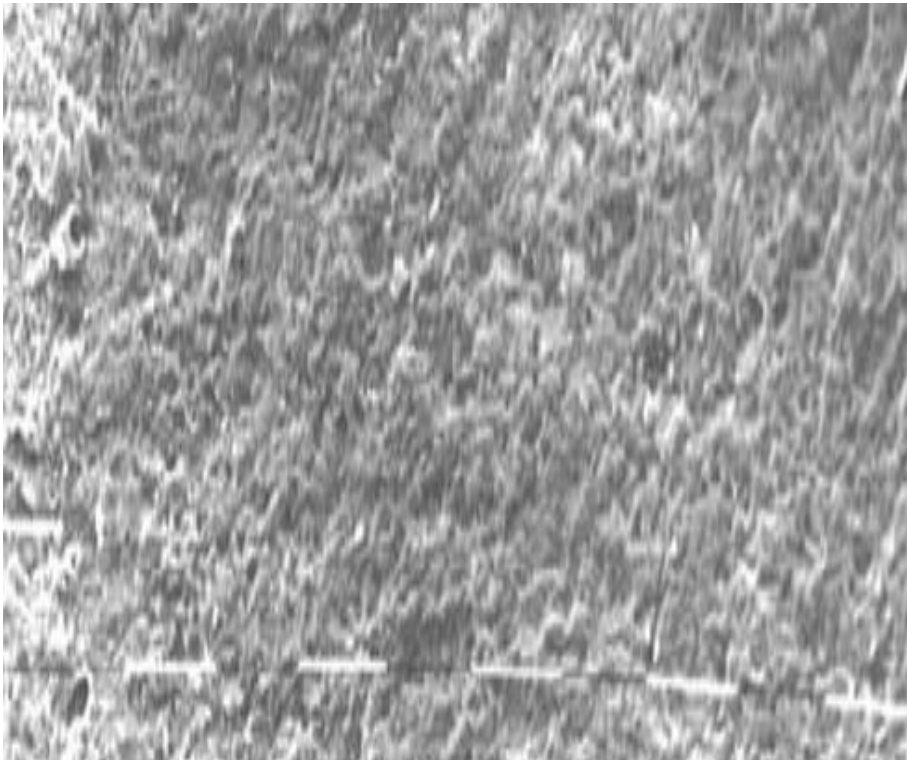


Fig. 4.25 Superficie fracturada por un mecanismo de fatiga, bajo aumento

Fuente: www.materiales-sam.org.ar

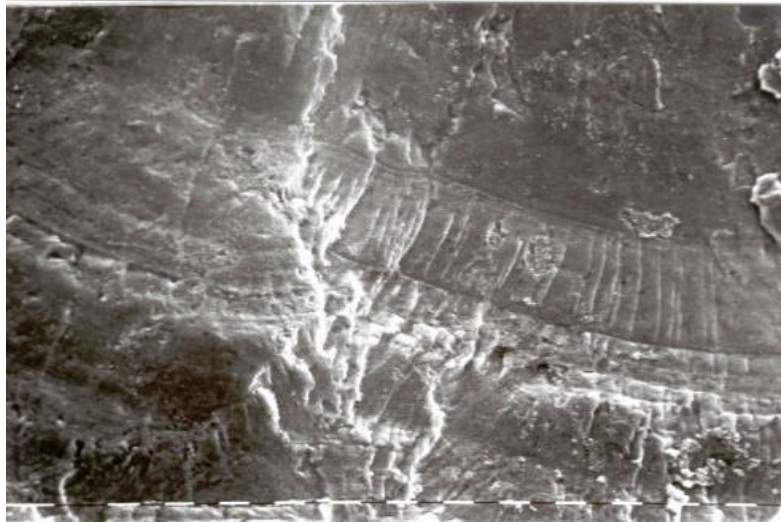


Fig. 4.26. Detalle de una superficie de fractura por fatiga

Fuente: www.materiales-sam.org.ar

En la parte superior se puede observar la fractura de un material con un microscopio electrónico en donde se visualiza las marcas de playa nivel.

Las estrías están mas juntas y definidas en fatiga de alto ciclo al contrario en la sde bajo ciclo son anchas, espaciadas y no siempre continuas.

En aleaciones de alta resistencia no se pueden observar estrías aunque el mecanismo de rotura haya sido por fatiga seria muy difícil visualizarlas.

4.12.8.1. Aspecto Macroscópico de una Superficie de Fractura por Fatiga

La fractura por fatiga es generalmente plana en su superficie sin evidencias de deformaciones plásticas macroscópicas, están orientadas a 45 grados respecto a la tensión aplicada, si la muestra es grande respecto a las dimensiones de la zona plástica en el extremo de la fisura, la fractura se propaga en un plano normal a la tensión aplicada respecto a su espesor.

Cuando se compara el espesor de la muestra con la zona plástica la fisura del plano tendrá una orientación de 45 grados de la tensión aplicada y de la superficie libre de propagación.

En los mecanismos de fatiga que demoran en ser fracturados tendremos características de marca de playa que corresponden a periodos de propagación de la rotura, la superficie fracturada durante una detención temporaria en ese momento puede oxidarse o corroerse dando así a marcas concéntricas muy visibles que indican donde se produjo la rotura por fatiga.

4.12.8.2. Aspecto Microscópico de una Superficie de Fractura Por Fatiga

Según el medio en el cual se propaga la fisura las estrías de fatiga presentan distintas formas, de tipo frágil las que encontramos en tipos agresivos y de tipo dúctil en medios inertes.

La distribución de tensiones en las cuales las estrías se forman en el extremo de la fisura como es el caso de los polímeros, existen restricción cristalográfica para la deformación y la formación de estrías esta determinada por las tensiones existentes como es el caso de materiales cristalinos, que existe una restricción en cuanto a los posibles planos de deslizamiento por tanto tendremos estrías orientadas respecto de las tensiones actuantes de deslizamiento.

Cuando las estrías no aparecen o están poco definidas si el grano cristalino esta orientado desfavorablemente.

Cada estría representa la posición del frente de la fisura en cada etapa de la fractura, entonces la relación entre velocidad de propagación con alguna magnitud que representa el estado de tensiones en el extremo de la fisura que nos interesa conocer.

4.12.9. EFECTOS DE UN MEDIO CORROSIVO

Esto representa el comportamiento de los materiales frente a la fatiga que son conocidos hace varias décadas en un medio corrosivo.

Cuando el efecto es agresivo este es más apreciable al comienzo del proceso. Cuando las velocidades de propagación aumentan apreciablemente es importante puesto que una parte de vida útil de un componente corresponden a estas primeras etapas, en las últimas etapas de una fisura su propagación corresponde a altos factores de intensidad, los factores mecánicos dominan el proceso y son mínimos en un efecto medio agresivo.

La fractura puede confundirse con estrías de fatiga, debemos tomar en cuenta la superficie en las cuales pueden existir ondulaciones debido a una deformación plástica que a primera vista parecerían estrías o si la tensión cíclica aplicada tienen un componente de compresión, puede observarse marcas de frotamiento, se debería decir que es un mecanismo cíclico pero que las estrías de fatiga no son correspondientes..

CAPÍTULO 5

FUNDAMENTOS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA E INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE

5.1. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE MOTORES A GASOLINA

Un motor de combustión interna es cualquier tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión, la parte principal de un motor. Se utilizan motores de combustión interna de cuatro tipos: el motor cíclico Otto, el motor diesel, el motor rotatorio y la turbina de combustión.

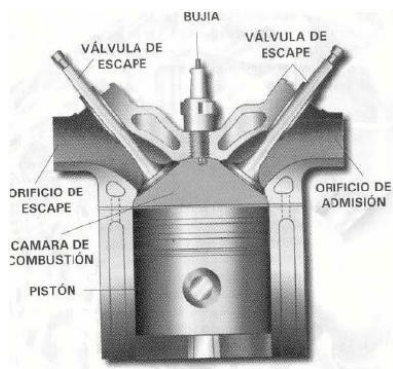
En este apartado revisaremos de manera rápida y concisa los principios de funcionamiento de un motor que trabaja con el ciclo Otto, y cuya fuente de energía química es la Gasolina.

5.1.1. MOTOR OTTO DE CUATRO TIEMPOS

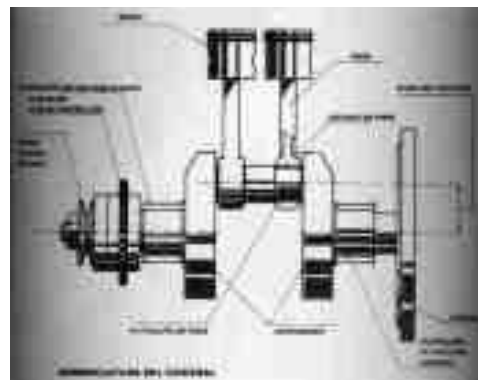
Este tipo de motor de combustión interna convierte en trabajo útil una parte del calor producido por la combustión de la gasolina. Se conoce al ciclo de trabajo de este motor con el nombre de ciclo Otto, llamado así en honor a su inventor, el alemán Nikolaus August Otto.

5.1.2. FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR OTTO DE CUATRO TIEMPOS

El funcionamiento de este motor esta basado en el movimiento de un **pistón** que se desliza muy ajustado al interior de la **cámara de combustión**, que es un cilindro en donde tiene lugar la combustión de la mezcla de aire y carburante y que por lo general se encuentra fijo. La posición hacia dentro y hacia fuera del pistón modifica el volumen que existe entre la cara del interior del pistón y las paredes de la cámara. La parte posterior del pistón está unida al **cigüeñal** (eje principal) a través de una biela, que es la que se encarga de convertir el movimiento lineal en movimiento rotatorio. En los motores que cuentan con varios cilindros, el cigüeñal posee una posición de partida, conocida como *espiga del cigüeñal* y que se conecta a cada eje, con lo que la energía que se produce en cada cilindro se aplica al cigüeñal en un punto determinado de la rotación.



a) **Esquema Cámara Combustión (Cilindro) y Pistón**



b) **Conjunto de dos pistones y cigüeñal**



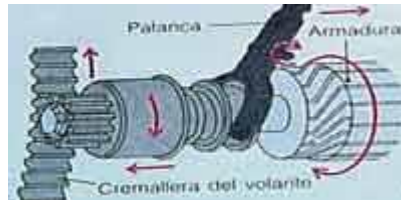
c) **Esquemas de cigüeñales de motores de varios cilindros**

Fig. 5.1. Esquema cilindro, pistones y cigüeñal

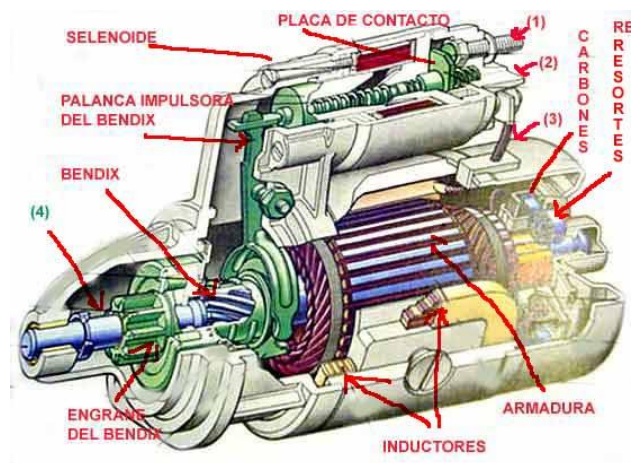
http://campus.fortunecity.com/duquesne/623/home/ciguenial/ciguenial_solo_texto.htm

Un motor de combustión interna no puede empezar a funcionar sin un previo estímulo, lo que implica que debe inducirse un movimiento rotatorio del cigüeñal, que se lo obtiene cuando por la acción de un motor eléctrico (*sistema*

de arranque) se produce el giro de un plato grande conocido como volante de inercia, que conectado al cigüeñal, induce el giro a este último, dando inicio así al proceso de combustión de cuatro tiempos que mantendrá girando al cigüeñal a pesar de que ya se desconectó del motor de arranque.



a) Contacto del Volante con el motor de arranque



b) Partes de un motor de arranque

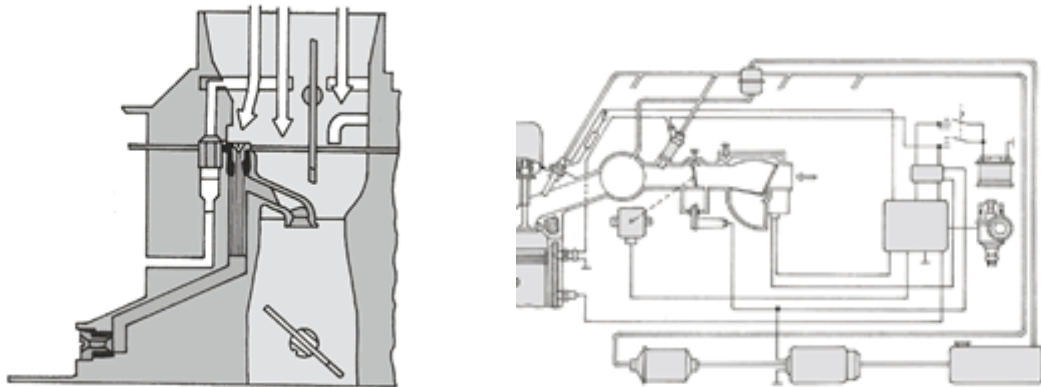
Fig. 5.2. Esquema motor de arranque

<http://www.automecanico.com/auto2002/Arrancador.html>

Una vez visto como se inicia el movimiento en un motor de gasolina, vamos a analizar los dispositivos que se encargan de la alimentación del combustible y de la ignición del mismo.

Sabemos que el sistema de alimentación de combustible consta de varios elementos tales como: tanque de gasolina, bomba de gasolina, sistema de distribución y por último el sistema de inyección del combustible (a carburador o inyección electrónica), del cual se pondrá énfasis en las páginas posteriores. En la actualidad en los motores de varios cilindros el combustible vaporizado se

conduce a las cámaras de combustión ya sea por un tubo ramificado (inyección monopunto) o por un sistema exclusivo para cada cilindro (inyección múltiple).



a) Sistema de Alimentación por Carburador

b) Sistema de Alimentación por Inyección

Fig. 5.3. Esquema sistema alimentación de combustible

http://www.terra.cl/guia_practica/mundo_automovil/auto_mantenion/Parte_bas.cfm

Dentro del sistema de alimentación de combustible, también entran en juego los dispositivos que permiten la admisión de aire y la salida de los gases de combustión, dichos elementos son los conocidos como *válvulas de admisión y de escape*, que generalmente se diseña un par de ellas cada cilindro, aunque en la actualidad, cada cilindro puede constar de 2 válvulas de admisión y 2 de escape.

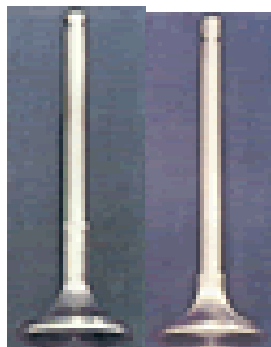


Fig. 5.4. Esquema de Válvulas

http://www.terra.cl/guia_practica/mundo_automovil/auto_mantenion/Parte_bas.cfm

El correcto accionamiento de estas válvulas está ligado al *árbol de levas* que es el encargado de indicar el momento de apertura y cierre de las mismas, dicho

elemento va diseñado para estar sincronizado con la posición del cigüeñal y de cada pistón.

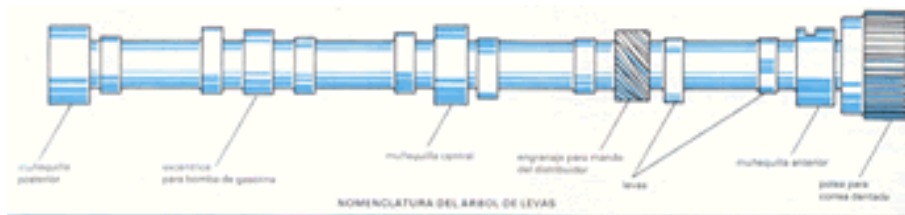


Fig. 5.5. Esquema de árbol de levas

http://www.terra.cl/guia_practica/mundo_automovil/auto_mantenion/Parte_bas.cfm

La expulsión de los gases de combustión se da a través de un *colector* o *múltiple de escape*, a este elemento llegan todos los gases que se producen en los cilindros luego de la combustión y son desalojados hacia el exterior. Debido a los grandes problemas ambientales que se han generado debido a la acción de estos gases en la atmósfera, se desarrollaron novedosos métodos para hacer del proceso de inyección, combustión y escape mucho más efectivo, con la finalidad de obtener ahorro de combustible, mejorar la calidad de la combustión y producir la menor cantidad de gases post-combustión posible.

Para que el proceso de combustión se lleve a cabo en un motor a gasolina, se requiere de un elemento que sea el que de inicio al proceso de ignición, dichos elementos son conocidos como *bujías*, que es el que se encarga de transformar una corriente de alto voltaje en un arco eléctrico (chispa) que da inicio al proceso de combustión dentro del cilindro.

Dado que la combustión produce calor, todo motor debe disponer de un *sistema de refrigeración* que garantice el correcto funcionamiento del motor y que evite el proceso de fundición del mismo, dicho sistema que se encuentra en los motores utiliza como elemento refrigerante al agua, aunque en la actualidad los vehículos utilizan un refrigerante especial. Los elementos de este sistema son: bomba de refrigerante, radiador y ventilador.

5.1.3. FASES DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN

Ahora que hemos explicado brevemente los sistemas que permiten el funcionamiento de un motor, analicemos de manera más profunda el proceso que se produce en el interior de las cámaras de combustión.

Como se dijo antes, cada cilindro debe tener por lo menos dos válvulas, una de admisión A y la de escape E. En los siguientes gráficos podremos ver las cuatro fases del proceso de combustión:

- a) *Fase de aspiración (admisión)*: El pistón baja y hace entrar la mezcla de aire y gasolina preparada por el carburador en la cámara de combustión.

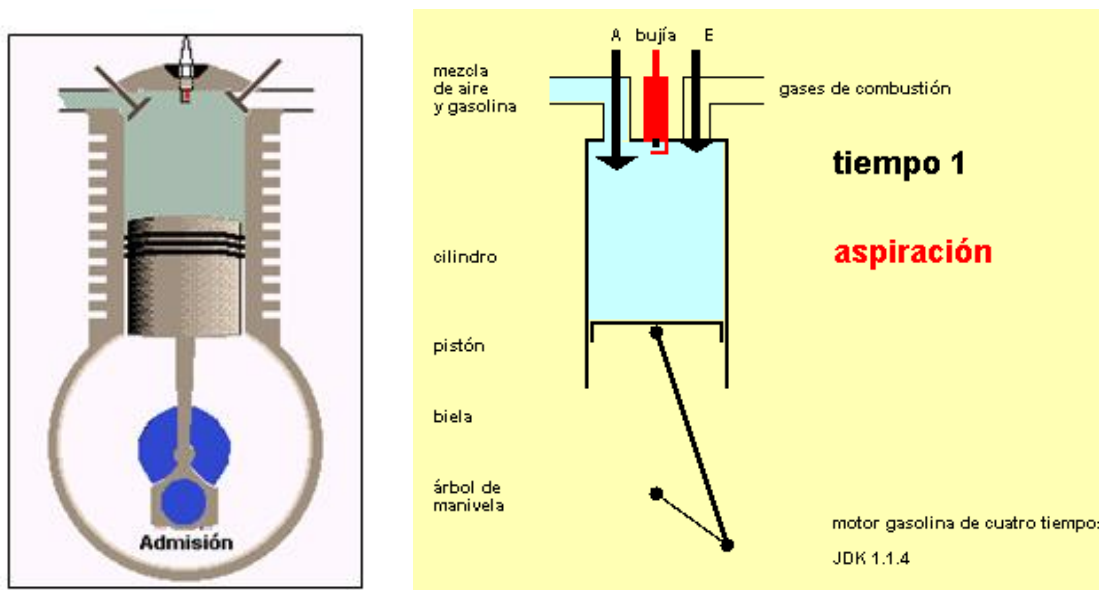


Fig. 5.6. Gráfica de fase de admisión

http://www.k-wz.de/vmotor/v_omoters.html

- b) *Fase de compresión*: El émbolo comprime la mezcla inflamable. Aumenta la temperatura.

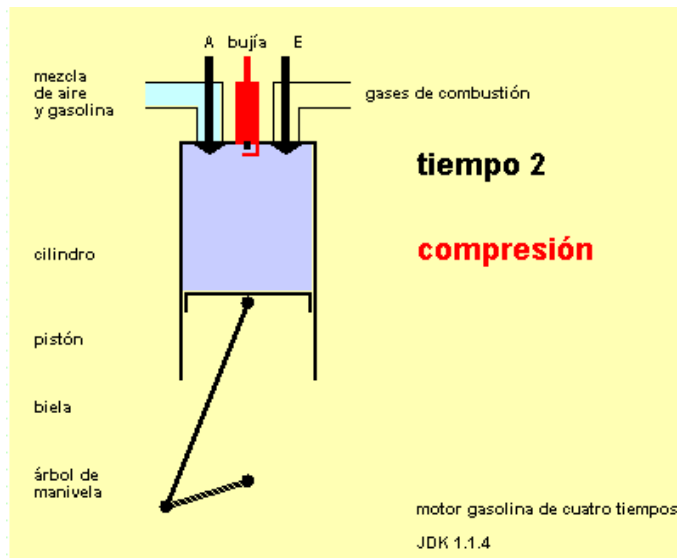
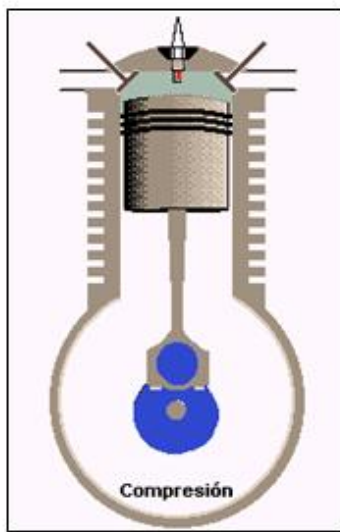


Fig. 5.7. Gráfica de fase de compresión

http://www.k-wz.de/vmotor/v_omoters.html

- c) *Fase de expansión (Carrera de trabajo):* Una chispa de la bujía inicia la explosión del gas, la presión aumenta y empuja el pistón hacia abajo. Así el gas caliente realiza un trabajo

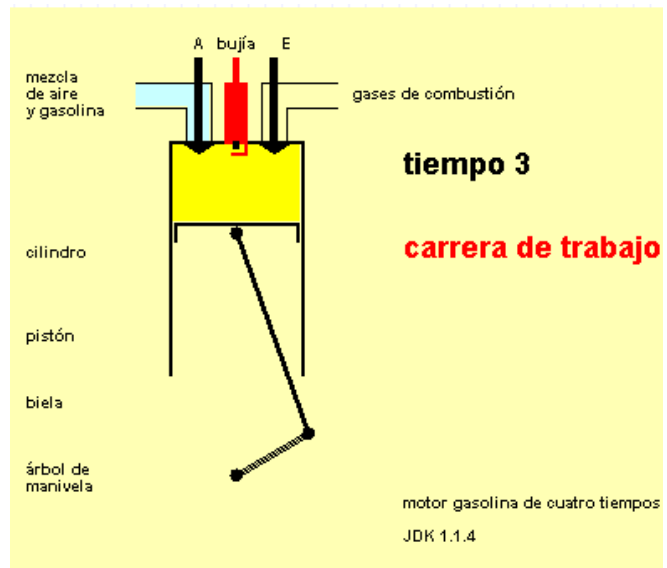
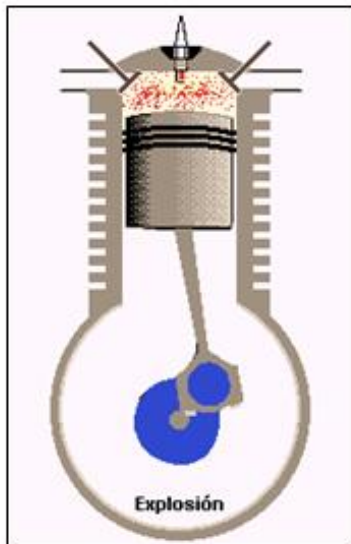


Fig. 5.8. Gráfica de fase de expansión

http://www.k-wz.de/vmotor/v_omoters.html

d) *Fase de expulsión (Escape)*: El pistón empuja los gases de combustión hacia el tubo de escape

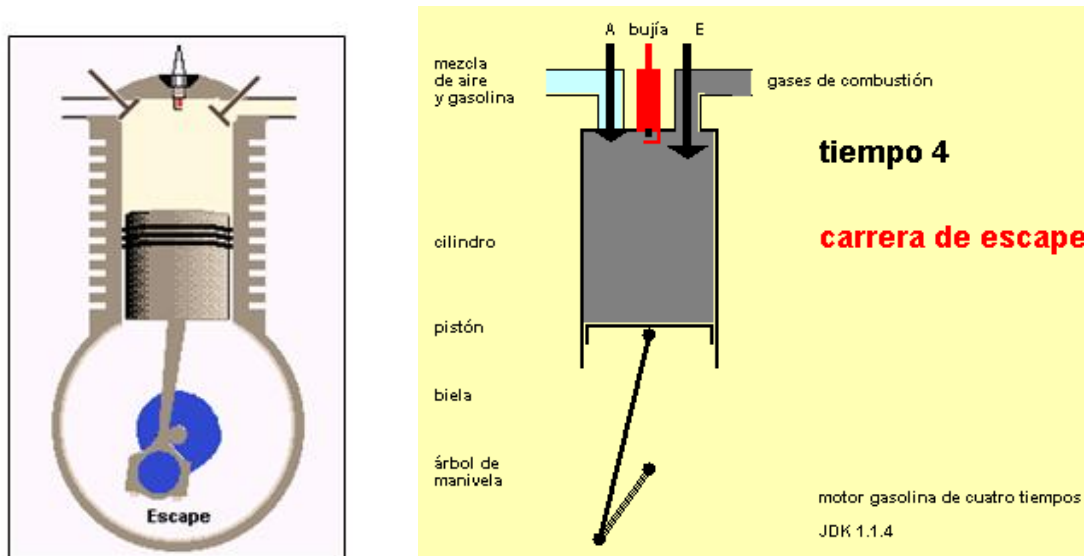


Fig. 5.9. Gráfica de fase de expulsión (escape)

http://www.k-wz.de/vmotor/v_omoters.html

5.1.4. GRÁFICAS DE UN MOTOR Y SUS PARTES

Aquí vemos un motor Morris de 1925 con cuatro cilindros en línea y pistones de aluminio:

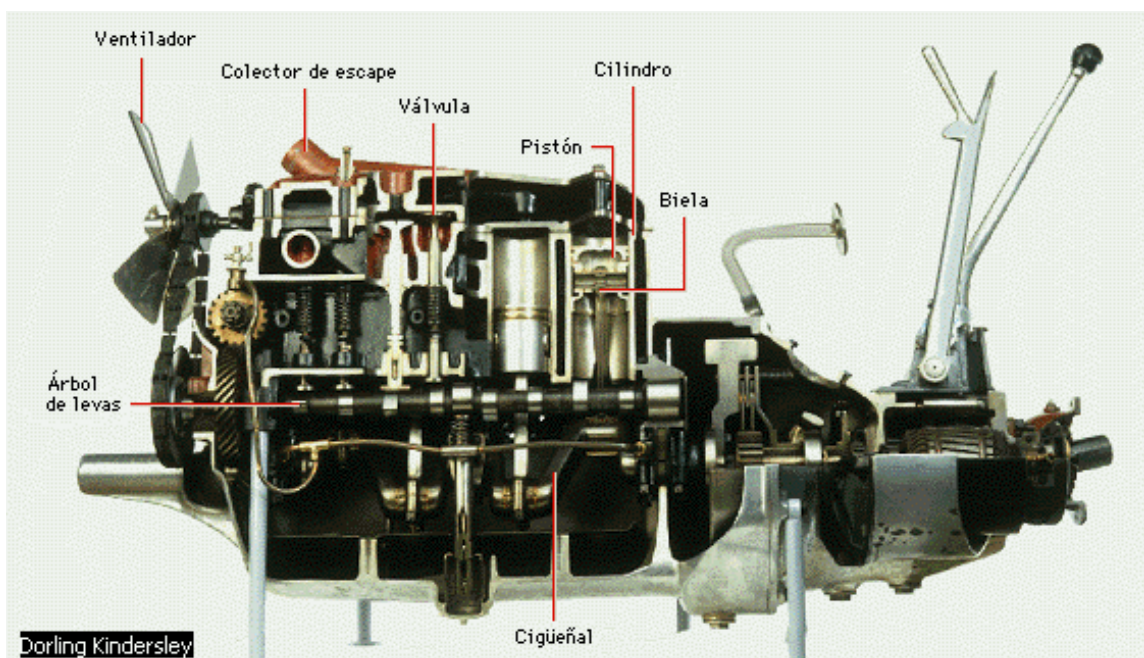
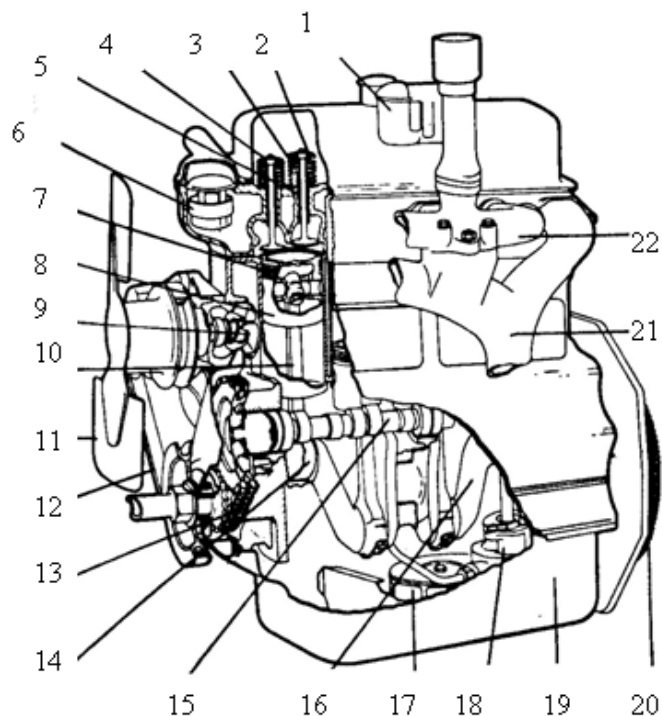


Fig. 5.10. Fotografía de un motor real (corte)

http://www.k-wz.de/vmotor/v_omotors.html

Partes de un motor:



1. Carburador; 2. Válvula de admisión; 3. Muelle de la válvula; 4. Válvula de escape; 5. Guía de la válvula; 6. Termostato; 7. Segmentos; 8. Pistón; 9. Bomba del agua; 10. Biela; 11. Ventilador; 12. Correa del ventilador; 13. Cadena para accionar el árbol de la transmisión; 14. Cojinetes; 15. Árbol de levas; 16. Cigüeñal; 17. Filtro del aceite; 18. Bomba del aceite; 19. Cubeta del aceite; 20. Volante; 21. Colector de escape; 22. Colector de admisión.

Fig. 5.11. Esquema de partes de un motor de 4 tiempos

http://www.k-wz.de/vmotor/v_omotors.html

5.2. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN POR INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE COMBUSTIBLE

5.2.1. INTRODUCCIÓN

El sistema de alimentación o bombeo de combustible de un motor de combustión interna está constituido por varios elementos, a saber: un depósito o tanque, una bomba de combustible y el dispositivo que vaporiza o atomiza el combustible líquido para facilitar el proceso de combustión.

El primer sistema que se utilizó en los motores para vaporizar o atomizar el combustible fue el **carburador**, que mediante la acción de un efecto venturi entre el aire que ingresa al motor y una aguja de inyección, el combustible era mezclado con el aire, con lo que se obtenía una mezcla aire-combustible que ingresaba a los cilindros de un motor.

A partir de la década de 1980 y debido a los grandes problemas que este sistema de carburador producía (desperdicio de combustible y alta contaminación ambiental), se empiezan a desarrollar sistemas de alimentación más eficientes, que se basan en el control de inyección de combustible a través de una computadora, con lo que se logra aumentar el ahorro de combustible y reducir enormemente las emisiones de gases tóxicos al medio ambiente. Estos sistemas son los conocidos como **sistemas de inyección electrónica**.

5.2.2. DIFERENCIAS ENTRE LA CARBURACIÓN Y LA INYECCIÓN

Para alimentar de combustible a un motor de gasolina, la mezcla aire-combustible que ingresa a los cilindros, se la prepara a través de un carburador o de un equipo de inyección. En la actualidad, el carburador es un medio mecánico de preparación de mezcla que ya no se utiliza en los vehículos debido a las diferencias que presenta frente a un sistema de inyección localizada.

La tendencia hacia los sistemas de inyección de combustible se debe a las ventajas que éstos suponen en cuanto a las exigencias de potencia, consumo, comportamiento en marcha, así como la disminución de elementos contaminantes en los gases de escape. Dichas ventajas se basan en el hecho de que la inyección permite una dosificación de combustible muy exacta en función de la marcha y carga del motor, afectando también de menor forma al medio ambiente, ya que se al controlar la dosificación de combustible se reducen en gran porcentaje los elementos nocivos presentes en los gases de escape.

Del mismo modo, en un sistema de inyección electrónica, se consigue una mejor distribución de la mezcla a través de cada electroválvula o inyector, aumentando así la eficiencia del proceso de combustión en el motor.

Con la supresión del sistema de carburador se facilita el diseño y la forma de los conductos de admisión, permitiendo el paso de corrientes aerodinámicas favorables para el rápido llenado de los cilindros, con lo que a la final se mejora el par motor y la potencia. Del mismo modo al suprimir el carburador se eliminan los problemas típicos de este sistema como la escarcha, la percolación y las inercias de la gasolina.

5.2.3. VENTAJAS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA

5.2.3.1. Consumo reducido

Un sistema tradicional de carburador presenta inconvenientes en cuanto a las cantidades desiguales de mezcla aire/gasolina que se distribuyen a cada cilindro desde el múltiple de admisión. Aparece entonces la necesidad de formar una mezcla que alimente suficientemente a cada cilindro, que hace que se produzca una dosificación de combustible demasiado elevada, y como consecuencia se tendrá un excesivo consumo de gasolina y una carga desigual en los cilindros.

Con la presencia de un inyector para cada cilindro, se puede garantizar que bajo cualquier estado de carga y en el momento oportuno se tendrá la cantidad de combustible exactamente dosificada para el régimen de trabajo.

5.2.3.2. Mayor Potencia

Con el diseño de los sistemas de inyección, también se pudo optimizar la forma de los múltiples de admisión con lo que se mejoro de manera significativa el llenado de los cilindros, y como consecuencia de esta mejoría se obtienen mayores resultados en potencia específica y un aumento en el par motor.

5.2.3.3. Gases de escape menos contaminantes

Los porcentajes de elementos nocivos para el medio ambiente, presentes en los gases de escape de la combustión de un motor, dependen directamente de la proporción de aire – combustible que entra a los cilindros.

Para disminuir estas emisiones contaminantes se hace necesario el control de la mezcla aire-combustible que debe producirse, determinada por el régimen de trabajo del motor. El sistema de inyección electrónica nos brinda este control, ya que permite ajustar la cantidad de combustible necesaria con respecto a la cantidad de aire que entra al motor, en cualquier momento y condición de trabajo de éste.

5.2.3.4. Arranque en frío y fase de calentamiento

Con un sistema de inyección electrónica se consigue tiempos de arranque más cortos y una rápida y segura aceleración a partir del ralentí, esto se debe principalmente a los efectos de una exacta dosificación de combustible, en función de la temperatura a la que se encuentre el motor y el régimen de arranque del mismo.

En el proceso de calentamiento del motor, el sistema de control electrónico realiza los ajustes necesarios para garantizar una marcha redonda del motor y una buena admisión de gas sin tirones, todo este proceso se lo consigue adaptando el caudal exacto de combustible necesario, produciéndose un consumo mínimo del mismo.

5.2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN

Para clasificar los sistemas de inyección electrónica, se toman en cuenta cuatro diferentes criterios según las distintas características de los mismos, a saber:

- a) Según el lugar donde inyectan
- b) Según el número de inyectores
- c) Según el número de inyecciones
- d) Según las características de funcionamiento.

5.2.4.1. Según el lugar donde inyectan

5.2.4.1.1. Inyección Directa.

En este tipo de sistema, el inyector introduce la cantidad de combustible necesaria directamente en la cámara de combustión. Este sistema se constituye en la actualidad como el más novedoso, económico (en combustible) y eficiente, por lo que se está empezando a utilizar en los motores de inyección a gasolina, como por ejemplo el motor GDJ de Mitsubishi o el motor IDE de Renault.

5.2.4.1.2. Inyección Indirecta

En este tipo de sistema, el inyector introduce la cantidad de combustible necesaria en el colector/múltiple de admisión, por encima de la válvula de apertura del cilindro, la cuál no debe estar necesariamente abierta. Este sistema es el que más se utiliza por las empresas fabricantes de motores.

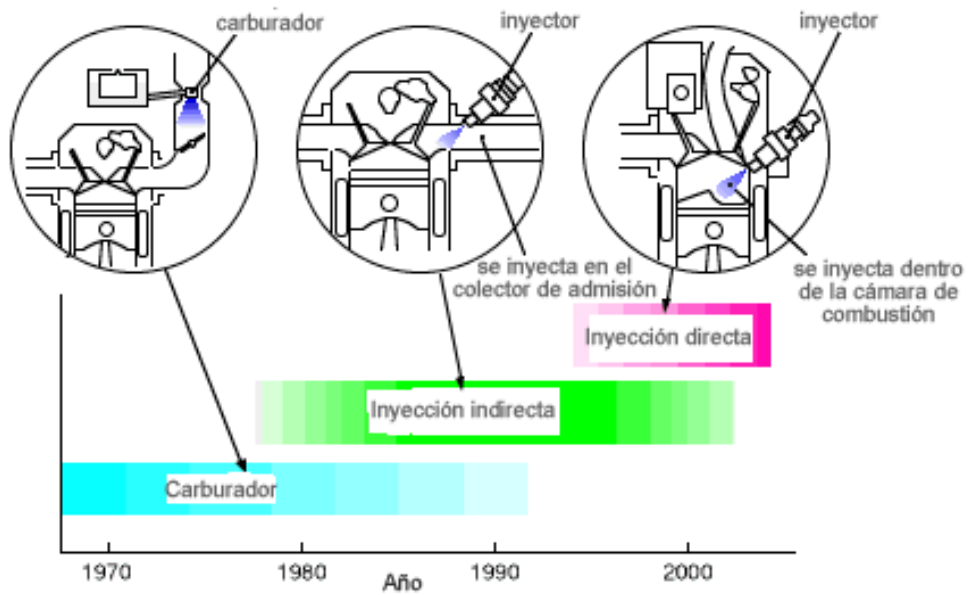


Fig. 5.12. Evolución y tipos de los sistemas de inyección

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.2.4.2. Según el número de inyectores

5.2.4.2.1. Inyección Monopunto

En este tipo de sistema, existe un solo inyector, el cuál introduce el combustible necesario en el colector o múltiple de admisión, después de la mariposa de gases. Estos sistemas son usados en los vehículos de turismo que poseen baja cilindrada y que deben cumplir con normas de antipolución.

5.2.4.2.2. Inyección Multipunto

En este tipo de sistema, existe un inyector para cada cilindro. La ventaja de este sistema es que los inyectores pueden ser de “inyección directa o indirecta”. Estos sistemas son los que se usan en la mayoría de vehículos de media y alta cilindrada, con sistema de antipolución o sin ellos.

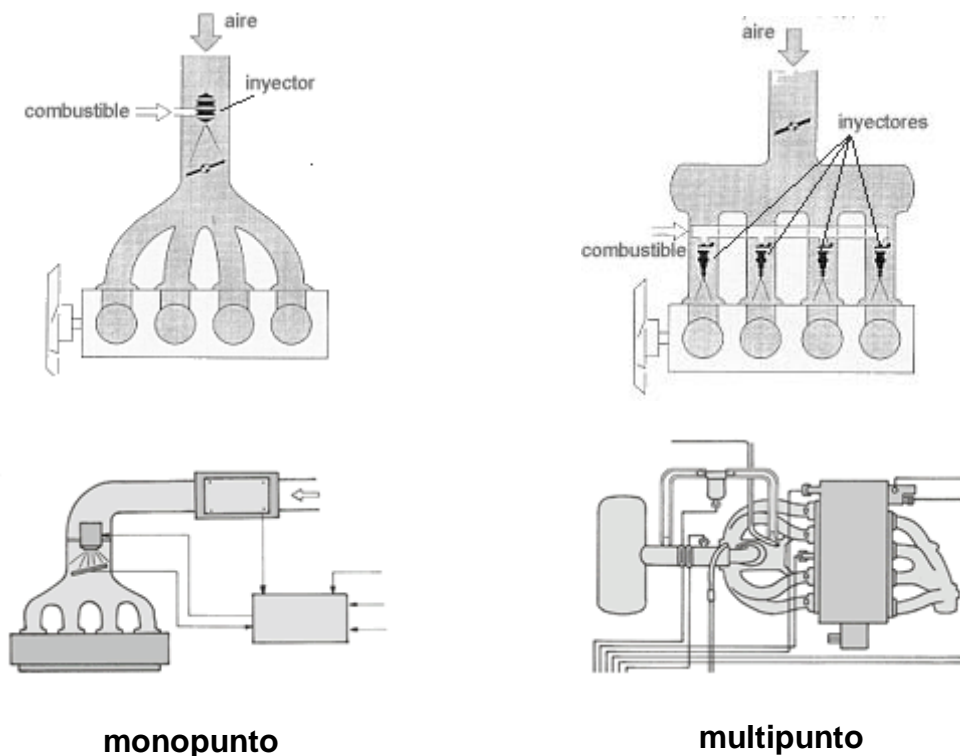


Fig. 5.13. Esquema de sistemas de inyección monopunto y multipunto

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.2.4.3. Según el número de inyecciones

5.2.4.3.1. Inyección Continua.

En este sistema, los inyectores permiten el ingreso del combustible de manera continua en el colector de admisión, controlando la dosificación y la presión del combustible, la cual puede variar o permanecer constante.

5.2.4.3.2. Inyección Intermitente.

En este sistema, los inyectores ingresan el combustible de manera intermitente, es decir, que los inyectores se abren y se cierran según las órdenes que reciba de la unidad de control de inyección del motor (ECU). Este tipo de inyección se subdivide en:

5.2.4.3.2.1. Secuencial.

La inyección de combustible se da según el orden de encendido de los cilindros, es decir, que el combustible es inyectado cuando la válvula de admisión de un cilindro está abierta. De esta manera los inyectores funcionan de uno en uno de manera sincronizada con el proceso de combustión en los cilindros.

5.2.4.3.2.2. Semisecuencial.

La inyección de combustible se da de dos en dos, es decir, que los inyectores se abren y cierran de par en par.

5.2.4.3.2.3. Simultánea.

En este tipo de inyección, todos los inyectores ingresan el combustible al mismo tiempo, por lo que se entiende que todos los inyectores se abren y se cierran al mismo tiempo.

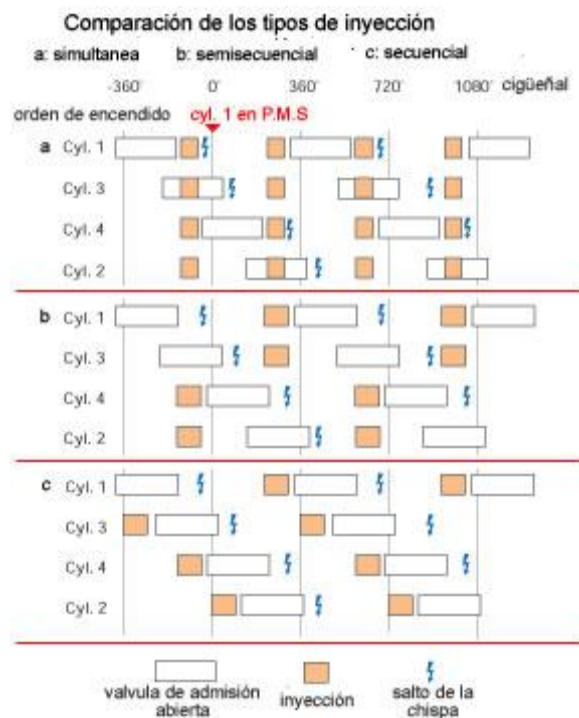


Fig. 5.14. Comparación de tipos de inyección intermitente

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.2.4.4. Según las características de funcionamiento.

Dentro de esta clasificación se encuentran todas las inyecciones actualmente usadas en los sistemas de automoción. Aquí encontramos todo lo referente a elementos del sistema de inyección y control.

En esta clasificación encontramos:

- a) Inyección Mecánica o K-jetronic
- b) Inyección Electromecánica o KE-jetronic
- c) Inyección Electrónica (L-jetronic, LE-jetronic, Motronic, Dijijet, Digifant, etc)

A continuación se describe, los componentes principales de cada uno de estos tipos de inyección. Para más detalles de cada tipo de inyección y sus componentes revisar los anexos de este proyecto. (ver Anexo F “Sistemas de de Inyección Electrónica”

5.2.4.4.1. Inyección Mecánica o K-JETRONIC

Inyección K-Jetronic

- 1.- Deposito de carburante
- 2.- Bomba de alimentación
- 3.- Acumulador
- 4.- Filtro
- 5.- Dosificador-distribuidor
- 6.- Regulador de presión de mando
- 7.- Inyectores
- 8.- Inyector de arranque en frío
- 9.- Cajetín de aire adicional
- 10.- Termocontacto temporizado

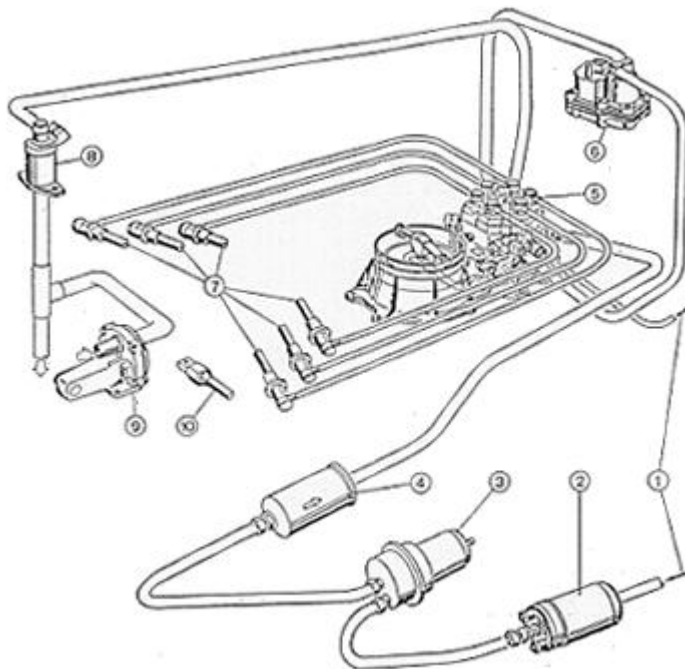


Fig. 5.15. Esquema del sistema de inyección K-Jetronic o mecánica

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.2.4.4.2. Inyección Electromecánica o KE-JETRONIC.

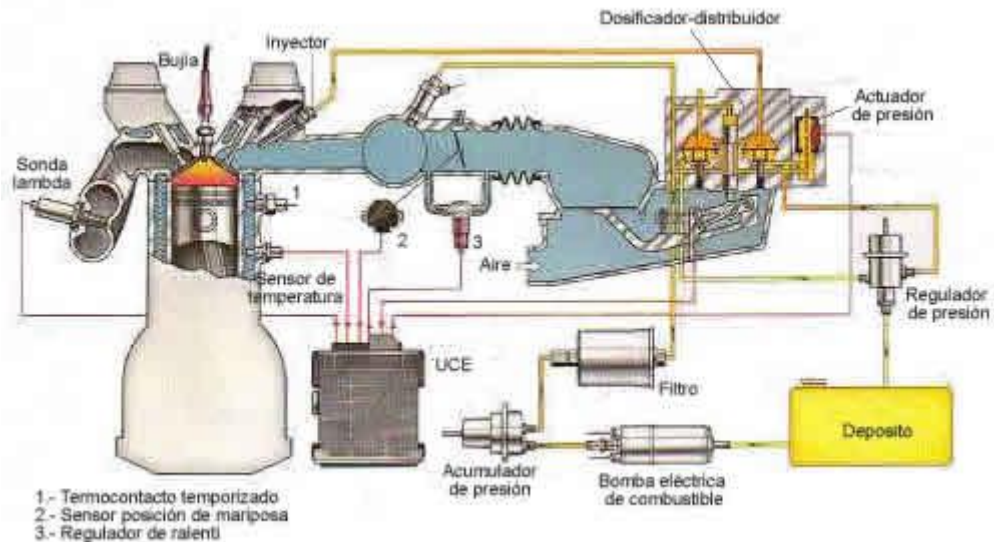


Fig. 5.16. Esquema de un sistema de inyección electro-mecánica o KE-Jetronic

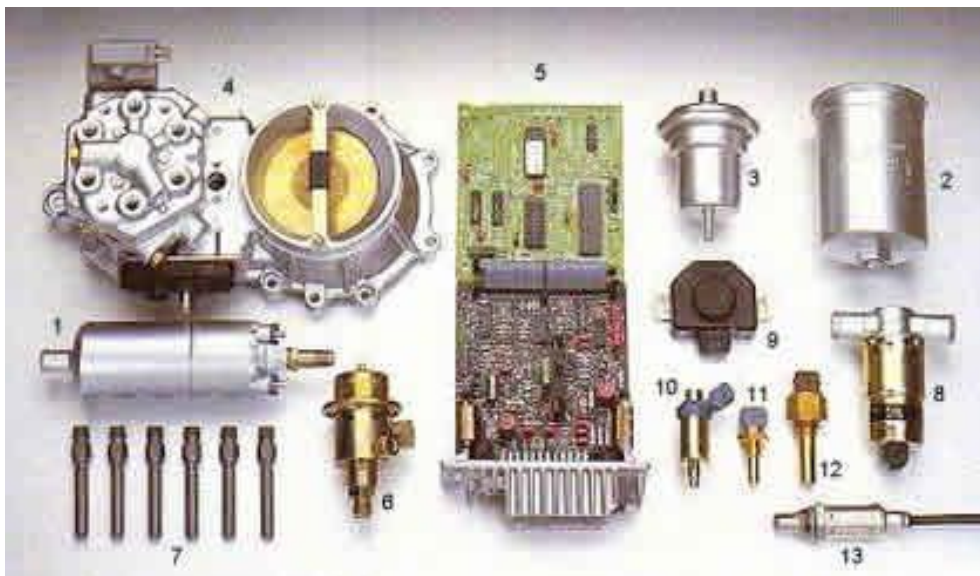
<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

Luego de varios años de uso de los sistemas de inyección mecánica o K-Jetronic, aparece un nuevo sistema perfeccionado que une el actual K-Jetronic con una unidad de control electrónica (UCE), este nuevo sistema es denominado de inyección electromecánica o KE – Jetronic. En este nuevo sistema se mantienen los principios de base hidráulicos y mecánicos del sistema K-Jetronic, los cambios se generan a partir del control eléctrico de todas las correcciones de la mezcla aire – combustible. Por este motivo, es que ya no se hace necesario el circuito de control de presión con regulador de la fase de calentamiento usado en el sistema K-Jetronic.

En el sistema KE, la presión del combustible ejercida sobre el émbolo de control permanece constante y es igual a la presión del sistema. Las corrección de mezcla es realizada por un actuador de presión electromagnético, el cual trabaja en base a un señal eléctrica variable proveniente de la UCE. Esta unidad de control, es la que se encarga de sensar y procesar las señales eléctricas provenientes de sensores (de temperatura, de posición de mariposa, etc).

De la señal que proviene del sensor medidor de caudal de aire (un potenciómetro que determina de manera eléctrica la posición del plato-sonda), la UCE procesa esta señal para determinar el enriquecimiento de la mezcla necesario para la aceleración. La

respuesta de la UCE se la envía al dosificador – distribuidor de combustible del un sistema KE, que será el que finalmente envíe la mezcla hacia los inyectores.



1.- Bomba eléctrica de combustible; 2.- Filtro; 3.- Acumulador de presión; 4.- Dosificador-distribuidor; 5.- UCE;
6.- Regulador de presión; 7.- Inyectores; 8.- Regulador de ralentí; 9.- Sensor posición de mariposa;
10.- Inyector de arranque en frío; 11.- Sensor de temperatura; 12.- Termocontacto temporizado; 13.- Sonda lambda.

Fig. 5.17. Elementos de un sistema de inyección electro-mecánica o KE-Jetronic

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.2.4.4.3. Inyección Electrónica L-JETRONIC y sistemas asociados

Este sistema se basa en la inyección intermitente de gasolina en el colector o múltiple de admisión a intervalos regulares, la cantidad de combustible que se inyecta es calculada y determinada por la unidad de control (UCE). El sistema de dosificación de combustible no requiere de ningún tipo de accionamiento mecánico o eléctrico.

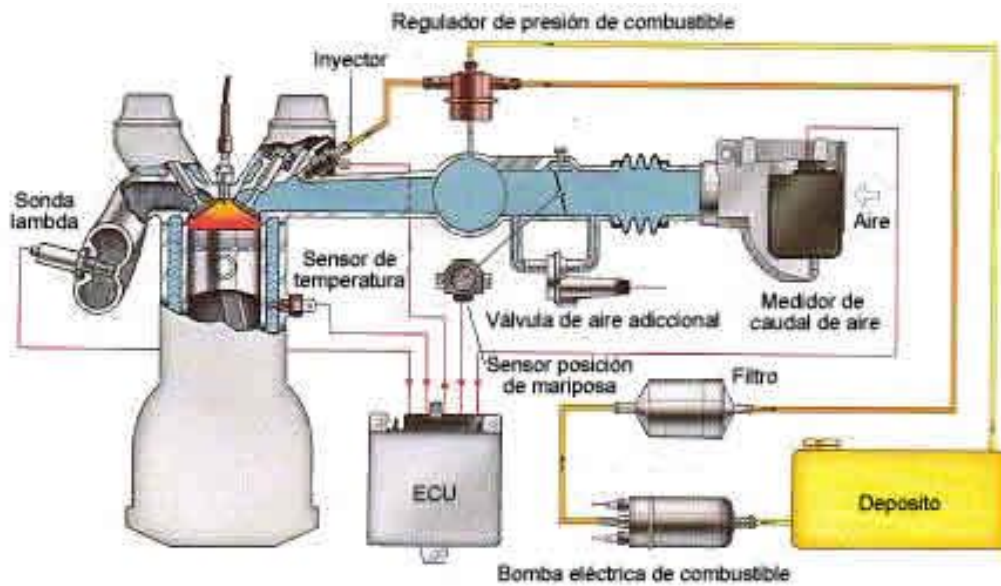


Fig. 5.18. Esquema de un sistema de inyección L-Jetronic

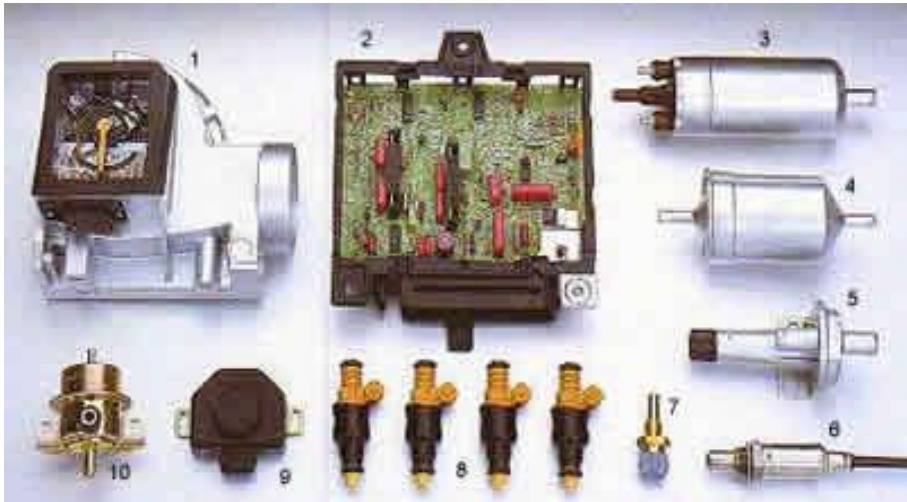
<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.2.4.4.3.1. Sistema Digijet

Este sistema es una aplicación especial del sistema L-Jetronic, es usado en marcas como la Volkswagen. La diferencia principal con el sistema L-jetronic original es que en la UCE se calcula de manera digital la cantidad necesaria de combustible. La UCE también controla la estabilidad en ralentí y el corte de sobre régimen.

5.2.4.4.3.2. Sistema Digifant

Este sistema es el perfeccionamiento del sistema Digijet. En su funcionamiento es muy similar al sistema Motronic. Este sistema es el que más se usa en la actualidad por los fabricantes de autos, ya que en la UCE se controlan más factores, tales como: inyección de gasolina, el sistema de encendido, la estabilización del ralentí, la sonda de oxígeno.



Componentes del sistema L-jetronic: 1.- Medidor de caudal de aire; 2.- ECU; 3.- Bomba eléctrica de gasolina
4.- Filtro; 5.- Válvula de aire adicional; 6.- Sonda lambda; 7.- Sensor de temperatura; 8.- Inyectores electromagnéticos
9.- Sensor de posición de la mariposa; 10.- Regulador de presión de combustible.

Fig. 5.19. Elementos de un sistema de inyección L-Jetronic

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.2.4.4.3.3. Sistema Motronic

Este sistema de inyección de gasolina combina un sistema L-Jetronic con un sistema de inyección electrónico, con lo que se logra integrar en la ECU un sistema de control total del motor. Este sistema se basa en el procesamiento digital de las señales en la ECU, a diferencia de los sistemas L-Jetronic.

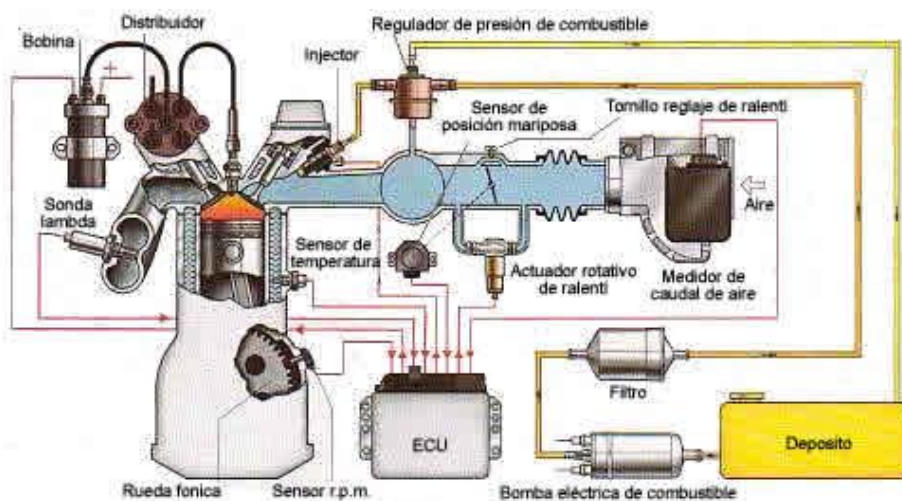
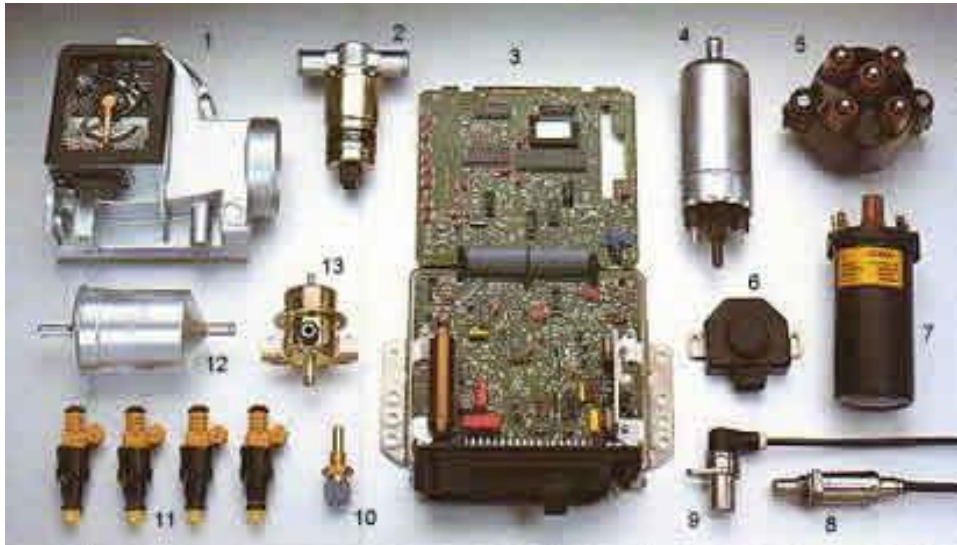


Fig. 5.20. Esquema de un sistema de inyección Motronic

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>



Componentes del sistema Motronic: 1.- Medidor de caudal de aire; 2.- Actuador rotativo de ralentí; 3.- ECU
 4.- Bomba eléctrica de combustible; 5.- Distribuidor (Delco); 6.- Detector de posición de mariposa; 7.- Bobina de encendido
 8.- Sonda lambda; 9.- Sensor de r.p.m; 10.- Sensor de temperatura; 11.- Inyectores electromagnéticos; 12.- Filtro
 13.- Regulador de presión de combustible.

Fig. 5.21. Elementos de un sistema de inyección Motronic

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.2.4.4.4. Inyección Electrónica Monopunto SPI

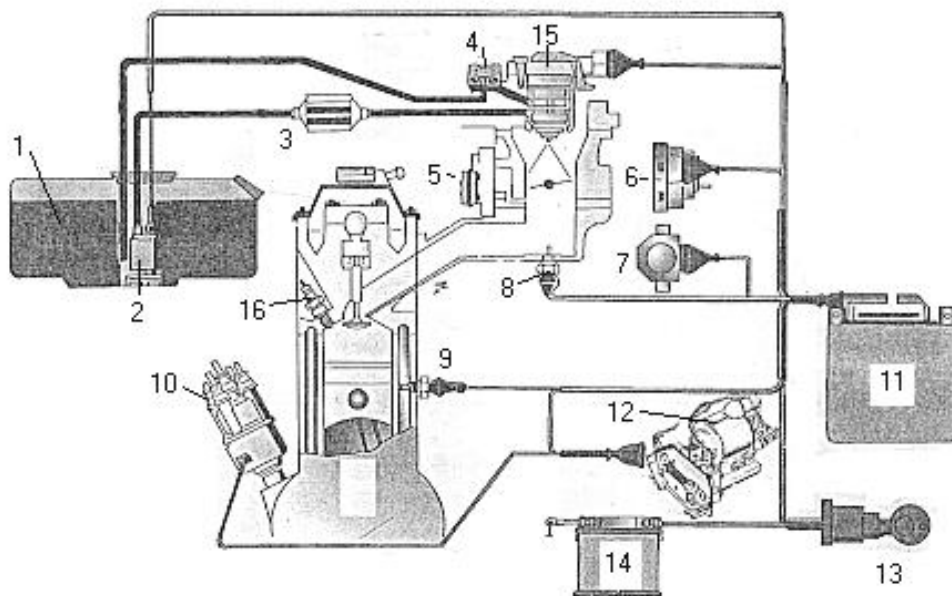
Este sistema de inyección es similar al que se describió en los párrafos anteriores, con la única diferencia de que el sistema SPI, utiliza un *captador de presión absoluta*, que se encarga de medir la presión de aire que entra al múltiple de admisión. Este sistema de un único inyector SPI, ingresa de manera intermitente combustible en el colector de admisión, a una presión relativamente baja con lo que se consigue un gran control electrónico sobre la mezcla, evitando así toda pérdida.

Un sistema de circuitos electrónicos determina la cantidad de aire que aspira el motor y la velocidad a la que el mismo se encuentra trabajando, para así calcular la cantidad de combustible a inyectar.

La presión del aire que entra al múltiple de admisión es medida por un sensor de presión, esta señal es enviada a la unidad central (UCE); simultáneamente es también censada la temperatura del aire para tener en cuenta las variaciones de presión con la temperatura. Una vez establecido el régimen de giro del motor, la UCE envía las señales necesarias para un correcto proceso

de inyección a un captador que informa al sistema de comando electrónico el paso que debe realizar dentro del distribuidor, de esta manera la UCE mantiene un control constante en la relación de la mezcla.

Para la ejecución de todo el sistema de control y acción, la UCE está conectada a: un motor paso-paso, que regula el régimen del motor en ralentí; un captador de posición de mariposa, que determina las posiciones angulares de la mariposa e informa de los procesos de aceleración, desaceleración y ralentí del motor.



1.- Depósito; 2.- Bomba de combustible; 3.- Filtro; 4.- Regulador de presión; 5.- Motor paso a paso; 6.- Captador de presión absoluta (medidor de caudal de aire); 7.- Potenciómetro de mariposa; 8.- Sensor de temperatura de aire; 9.- Sensor de temperatura motor; 10.- Sensor de RPM; 11.- UCE (unidad de control electrónica); 12.- Módulo de encendido; 13.- Llave de contacto; 14.- Batería; 15.- Inyector electromagnético

Fig. 5.22. Esquema de un sistema de inyección monopunto SPI

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

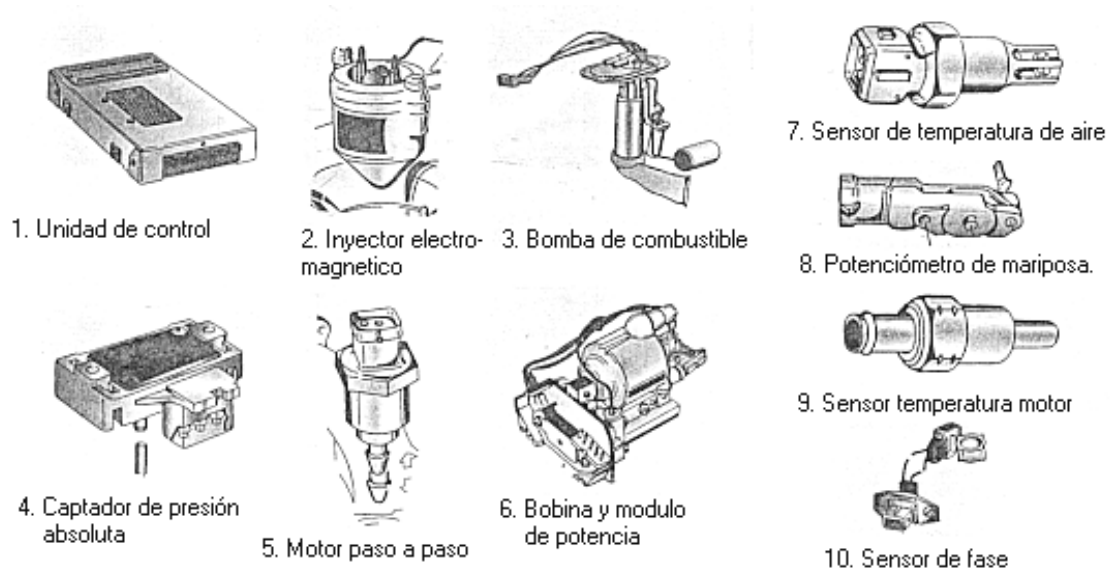


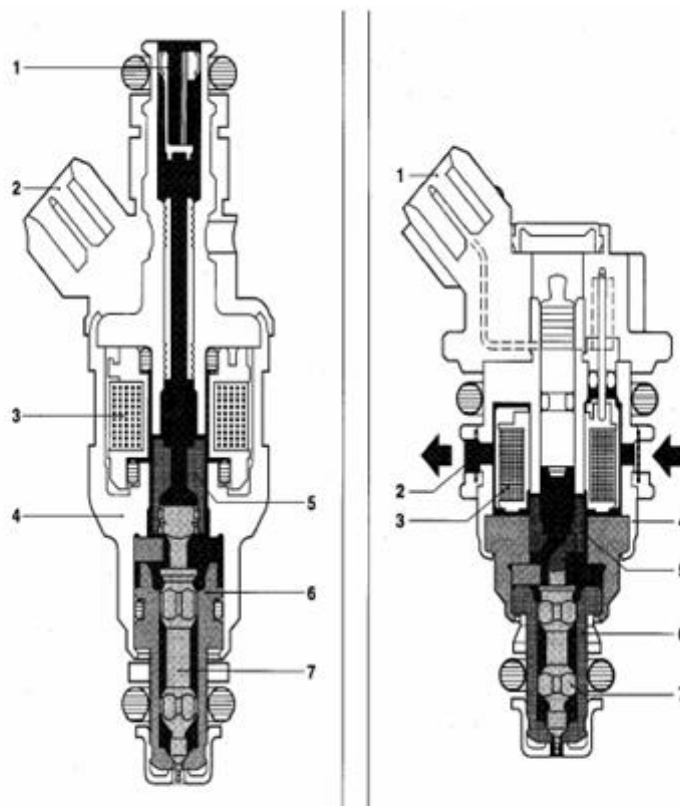
Fig. 5.23. Elementos de un sistema de inyección monopunto SPI

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.3. INYECTORES

5.3.1. DEFINICIÓN

Los inyectores son válvulas electromagnéticas cuya función fundamental es la de suministrar el combustible necesario para formar una buena mezcla que ingresará a los cilindros del motor. El funcionamiento de estas válvulas es controlado electrónicamente por la unidad central UCE.



Válvulas de Inyección de Gasolina. Izquierda: de alimentación superior. Derecha: de alimentación lateral. Izquierda 1-Filtro de la entrada de combustible. 2-Conexión eléctrica. 3- Bobinas. 4- Cuerpo de la válvula. 5- Inducido. 6- Tobera. 7-Aguja de la válvula. Derecha 1- Conexión eléctrica. 2- Filtro en la salida de combustible. 3- Bobinas. 4- Cuerpo de la válvula. 5- Inducido. 6- Tobera. 7- Aguja de la válvula.

Fig. 5.24. Esquema de un inyector y sus componentes

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

La constitución interna del inyector consta de una aguja inyectora de asiento que por la acción de un muelle se aplica sobre su asiento impidiendo la salida

del combustible que se encuentra a una presión entre 2,5 bares y 3 bares y que penetra por la boca de entrada llenando la cámara del inyector, la entrada de la gasolina al inyector es protegida con un filtro de malla fina de aprox. 20 micras (μ). Por otra parte, el inyector consta de un bobinado eléctrico que, a través de su conector, está en contacto directo con la UCE y, de ella recibe los impulsos eléctricos que determinan el tiempo de abertura y de descanso. La aguja inyectora dispone de un núcleo inducido, solidario de la misma, que se retira cuando la corriente de la UCE pasa por el bobinado en virtud del magnetismo creado. Éste momento en que el inyector se abre, el levantamiento de la aguja es, aproximadamente, de 0,1 mm y el combustible, totalmente atomizado, sale por el orificio anular que queda libre en este momento en virtud de alta presión que se encuentra en el circuito hidráulico.

Las tolerancias de fabricación de los orificios de un inyector son muy pequeñas, llegando a un espesor aproximado de 1 micra (μ) en el tiempo de abertura, del mismo modo el tiempo en que un inyector permanece abierto al paso de gasolina es de muy pocos milisegundos (tiempos de apertura y descanso entre 2 y 15 ms dependiendo de la condición de trabajo).

Cuando cesa la corriente procedente de la UCE, es el muelle el encargado de devolver a la aguja su posición de cierre y reposo, durante el tiempo de descanso.

De lo descrito en estos párrafos, se demuestra la importancia que poseen los inyectores. Todo el sistema de inyección de un motor depende del buen funcionamiento y precisión del trabajo de los inyectores de combustible.

5.3.2. TIPOS DE INYECTORES

En la actualidad existen dos tipos principales de inyectores, que se relacionan con los sistemas de inyección de combustible descritos en las páginas anteriores, a saber:

- a) Mecánicos (K-Jetronic)
- b) Electrónicos

El primer tipo de inyectores K-Jetronic fueron usados por más de 30 años, constituyéndose como parte de la norma OE (original equipment). Pero a partir de 1993, queda fuera de la norma, para dar paso a un sistema de inyectores más favorable con el medio ambiente, el inyector electrónico.

Debido a las excelentes técnicas de desarrollo de los inyectores electrónicos (electromagnéticos), que se han producido en todo el mundo en las últimas décadas, se ha hecho posible su adaptación a una variedad de sistemas de inducción de aire y de alimentación de combustible. De esta manera se ha logrado satisfacer las necesidades en cuanto al tipo de atomización y de caudal que se requiere en los motores usados por los fabricantes de vehículos.

Debido a estas necesidades, aparecen dos tipos de inyectores electromagnéticos:

- a) De alimentación lateral
- b) De alimentación superior



Fig. 5.25. Tipos de inyectores según el punto de alimentación de combustible

<http://www.inyectomotriz.com>

5.3.3. IMPUREZAS EN LOS INYECTORES

Cuando se detectan fallas en un sistema de inyección de motor, éstas generalmente se deben a la suciedad que se presenta en los inyectores. Estos inconvenientes empiezan a aparecer cuando las partículas, químicos y barnices presentes en la gasolina, se acumulan en el interior del inyector, ya sea en el filtro del mismo, en la aguja, en el asiento de aguja o en los orificios mismos de salida. Debido a las diferencias de temperatura, estos contaminantes se cristalizan y se adhieren a las paredes y el asiento del inyector. Este acumulamiento de partículas hacen que el inyector deje de trabajar de manera efectiva, afectando de manera drástica a su funcionamiento y por ende al buen funcionamiento del vehículo.

Ya en el campo técnico, una serie de estudios del comportamiento de los inyectores ha demostrado que, una acumulación de partículas en el interior de los mismos de tan sólo 5 micras (5 μ), puede reducir el caudal entregado por el inyector hasta en un 25%. Del mismo modo, estos contaminantes, aparte de afectar al caudal de combustible, causan problemas en la atomización de la gasolina, con lo que se producen emisiones excesivas de combustible en el escape, así como un mayor consumo de gasolina y por ende un inadecuado funcionamiento del motor.

Los síntomas de suciedad o desgaste de los inyectores son la emisión de humo negro en el escape, fuerte golpeteo del motor, pérdida de potencia, sobrecalentamiento, fallos de encendido y mayor consumo de combustible.

5.3.4. EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS INYECTORES

En la actualidad, los vehículos que trabajan con un sistema electrónico de control UCE, vienen provistos de un autodiagnóstico que de manera rápida y precisa identifica e informa al conductor sobre los componentes defectuosos en el motor.

Ahora bien, los inyectores en sí tienen una parte electrónica y una parte mecánica, y es esta última la que es afectada por la acumulación de partículas en el interior del inyector, generando así problemas en el funcionamiento del motor. La UCE no puede censar, verificar, comprobar ni corregir el funcionamiento de la parte mecánica de los inyectores, mientras éstos están montados en el vehículo. Este es el motivo por el que se hace necesario desmontarlos del mismo, para llevar a cabo un análisis exhaustivo en lo referente a problemas de atomización, posibles fugas y caudal entregado de combustible. Las pruebas realizadas en los inyectores deben hacerse en un banco, en el cual se debe poder simular las condiciones de trabajo de un inyector.

En los siguientes capítulos, se desarrollará un procedimiento para las pruebas que se deben realizar a los inyectores, así como una evaluación de los mismos luego de pasar por el proceso de limpieza ultrasónica.

5.3.5. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS INYECTORES

Para comprobar el correcto funcionamiento de los inyectores se tiene que verlos en el proceso de trabajo, para así diagnosticar que tipo de problema tiene cada inyector, por este motivo se hace necesario desmontarlos del motor y colocarlos en un banco de pruebas que simule la situación de trabajo real de los mismos.



Fig. 5.26. *Ejemplo de un mal funcionamiento inyectores*

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

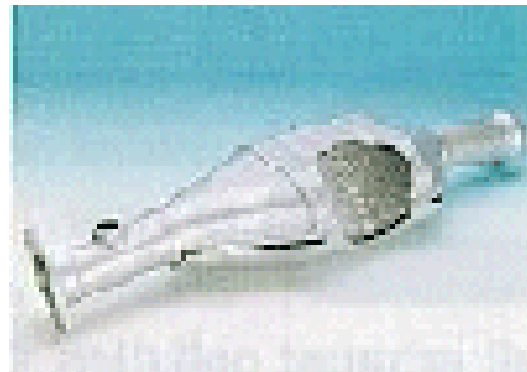
En la figura anterior, se puede notar claramente que de los seis inyectores puestos a prueba, sólo dos están trabajando de manera correcta (1 y 5); mientras que los otros presentan un problema referente a la atomización de combustible.

Se había destacado ya la importancia de tener los inyectores limpios, para garantizar un correcto proceso de atomización, que afecta de manera directa a la combustión. Con lo que al tener un funcionamiento adecuado de los inyectores, se garantiza un mejor rendimiento del motor, economía en el combustible, una buena conducción del vehículo y por supuesto se disminuye la contaminación ambiental.

De presentarse problemas de atomización de combustible, éstos afectan también al sensor de oxígeno y pueden tapar y/o dañar al convertidor catalítico (debido a la mala combustión), lo que resultaría un repuesto muy costoso para ser reemplazado.



a) Sensor de Oxígeno



b) Convertidor Catalítico

Fig. 5.27. Esquema sensor de oxígeno y convertidor catalítico

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

Cuando los inyectores se han desmontado del motor y se han colocado en el banco de pruebas, debe empezar el proceso de evaluación de trabajo de los mismos.

5.3.5.1. Proceso de Evaluación de Trabajo de un Inyector

Antes de colocar los inyectores en el banco de pruebas diseñado para su evaluación, se debe quitar los accesorios que éstos poseen, tales como: puntas, gomas, microfiltros, etc. Esto se lo debe hacer con cuidado y con las herramientas diseñadas para cada fin.

La comprobación de inyectores puede resultar peligrosa ya que la presión a que sale combustible de la tobera del inyector es suficiente para perforar la piel humana y llegar al torrente sanguíneo. Lo ideal es probar el inyector con éste alojado en una campana de pruebas especial de manera que el chorro no pueda dañar a nadie.

Las pruebas básicas a que han de someterse los inyectores son las siguientes:

- ✚ Prueba de "zumbido": permite averiguar si la válvula de aguja oscila durante la inyección (lo cual es necesario para la correcta atomización del combustible), ya que al hacerlo produce el característico zumbido.
- ✚ Forma de Chorro: la observación de la forma del chorro permite determinar si el conjunto inyector (tobera y válvula de aguja) está sucio o dañado.
- ✚ Presión de apertura del inyector: permite comprobar si la aguja se levanta de su asiento en la tobera al alcanzar el combustible la presión correcta.
- ✚ Prueba de fugas: permite determinar si entre el conjunto inyector (tobera y válvula de aguja) existe estanqueidad.
- ✚ Prueba de fugas internas: permite averiguar el grado de desgaste interno del conjunto debido a falta de estanqueidad entre las dos partes del cuerpo del inyector o a desgaste entre la aguja y su alojamiento.

- ✚ Prueba de Caudal: permite medir la cantidad de combustible que suministran los inyectores al motor.
- ✚ Prueba de funcionamiento electrónico: permite comprobar el funcionamiento de los inyectores bajo diferentes condiciones de operación (RPM), para esta prueba es necesario que el banco de pruebas cuente con un generador de pulsos en el que se pueda variar la frecuencia de trabajo de un inyector, es decir, que se pueda variar los tiempos de apertura y cierre en milisegundos.

5.3.5.1.1. Prueba de Zumbido

Para que el conjunto inyector pulverice correctamente el combustible es preciso que la aguja oscile hacia atrás y hacia adelante, a una frecuencia muy elevada, durante la fase de inyección. Al llegar al inyector el combustible a presión impulsado por la bomba de inyección se produce una variación de la presión de impulsión durante el periodo comprendido entre el comienzo y el final del suministro. Esta variación hace que oscile la válvula de aguja del inyector, oscilación que puede percibirse por el zumbido y la vibración que produce cuando se acciona el inyector en un aparato de comprobación. Si no hay zumbido o éste es irregular lo más probable es que se deba a que el inyector se encuentra en mal estado o a que la válvula de aguja se pega. En la siguiente figura se aprecia un sencillo del aparato comprobador, que deberá accionarse a un ritmo uniforme para que se produzca el zumbido y el manómetro deberá estar cerrado.

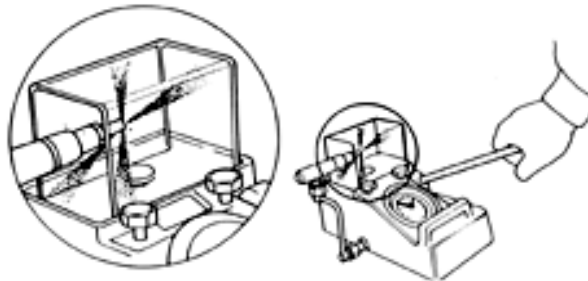


Fig. 5.28. Representación de una prueba sencilla de zumbido de un inyector

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.3.5.1.2. Forma de Chorro

Un chorro no uniforme, de aspecto estriado o fragmentado indica que el inyector está sucio o presenta algún tipo de daño. Las formas de chorro deseables en la mayoría de los tipos de inyectores son las que se indican en la siguiente figura. El chorro proyectado por el inyector debe ser regular, en forma de abanico, centrado con respecto al eje del inyector, sin interrupciones ni estrías y sin goteo.

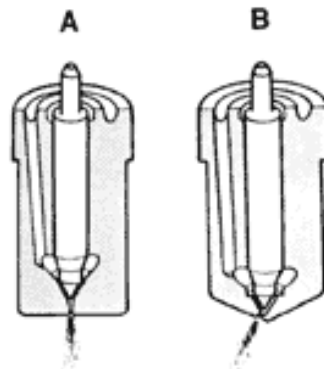


Fig. 5.29. Representación de formas de chorro deseables

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

Si el chorro sale del inyector oblicuamente, formando estrías o con interrupciones ello indica que está sucio o dañado. Téngase en cuenta no obstante que algunos inyectores de orificios múltiples comúnmente utilizados en motores de inyección directa producen varios chorros finos en abanico (Tipo D o E, fig. 5.30). En este caso la forma del chorro deberá comprobarse de la misma manera pero sin tener en cuenta los huecos entre los diferentes chorros.

De todos modos cualquier falta de simetría en la forma del chorro de un inyector de orificios deberá inspirar sospechas a menos que se compruebe que existe una clara desviación intencionada en la disposición de los orificios de la tobera.

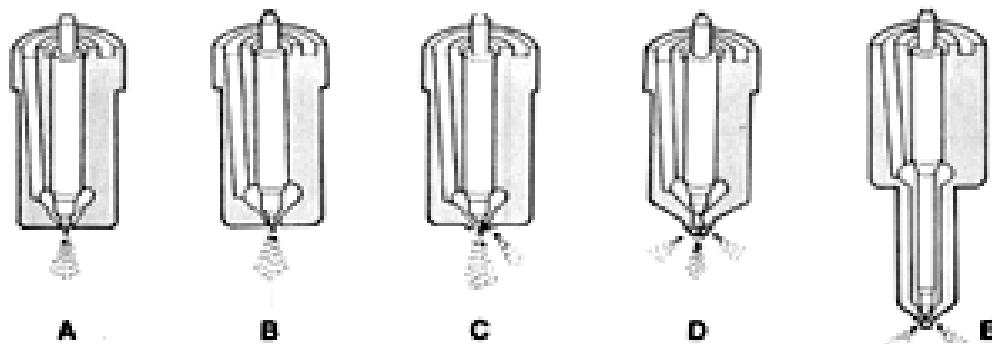


Fig. 5.30. Representación de formas correctas de atomización de combustible

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.3.5.1.3. Presión de Apertura

Al alcanzarse una presión determinada el inyector deberá abrirse de repente, sin ningún goteo previo. La presión de apertura de los inyectores está especificada en la sección de datos técnicos de cada motor. Se verifica bombeando con la palanca del comprobador de inyectores a razón de una embolada por segundo aproximadamente (salvo indicación en contrario) y observando la lectura de presión del manómetro al comienzo del suministro, instante en que la aguja del instrumento oscila ligeramente.



Fig. 5.31. Prueba de presión de apertura

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

Si la presión de apertura es superior a la prescrita ello puede obedecer al pegado de la espiga de presión, a una obstrucción parcial de uno o varios orificios de la tobera o a una precarga incorrecta del muelle de presión. Si por el contrario es inferior a la prescrita puede deberse a que la válvula de aguja esté pegada en posición abierta, el muelle roto o a que la precarga de este último sea incorrecta. Los inyectores con tornillo de ajuste de la precarga del muelle pueden calibrarse correctamente actuando sobre el tornillo, mientras que los que llevan un suplemento de reglaje de precarga encima del muelle puede cambiarse el suplemento por otro del espesor adecuado. Es normal tener que reajustar la presión de apertura de los inyectores a los 70.000 km.

Para aumentar la presión de apertura hay que actuar sobre el tornillo de ajuste del muelle de modo que penetre a mayor profundidad en el cuerpo del inyector

o, si éste es del tipo de reglaje por suplemento, colocar un suplemento de precarga más grueso. Si lo que se requiere es reducir la presión de apertura habrá que proceder a la inversa. Normalmente la presión de apertura se ajusta a un valor ligeramente superior al recomendado para compensar la ligera reducción que se produce durante la fase inicial de utilización del inyector. Por ejemplo un inyector con una presión de apertura recomendada de 175 bar lo mejor es calibrarlo para que abra a 180 bar. Algunos inyectores ajustables mediante tornillo llevan en éste una tuerca de bloqueo que es preciso aflojar para poder realizar el ajuste, debiendo apretarse de nuevo una vez efectuado éste.

5.3.5.1.4. Prueba de fugas

El inyector deberá mantener la presión de apertura prescrita durante el tiempo estipulado sin que se produzcan fugas de combustible. El modo más fácil de detectar tales fugas es colocando un trozo de papel absorbente debajo del inyector durante la prueba. Si el inyector gotea después de limpiar la tobera y la válvula de aguja, deberá sustituirse por uno nuevo.

5.3.5.1.5. Fugas internas en el inyector

La prueba de fugas internas consiste en medir el tiempo que tarda en producirse una caída sostenida de la presión del combustible desde un valor justo por debajo de la presión de apertura hasta un valor inferior especificado de antemano. El valor de verificación para esta prueba, expresado en gama de presión y segundos. Al efectuar esta prueba es importante asegurarse de que el inyector no presente goteo por el orificio u orificios de inyección.

Una caída de presión demasiado rápida indica la existencia de una holgura excesiva entre el vástago de la aguja y su alojamiento en el cuerpo del inyector (lo que hace necesario sustituir el conjunto inyector por uno nuevo) o falta de estanqueidad entre las dos partes principales del cuerpo del inyector (normalmente va montada entre ellas una arandela de cobre).

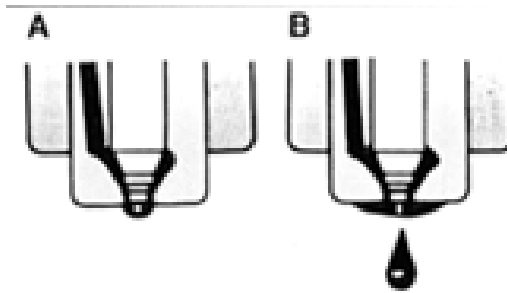


Fig. 5.32. Prueba de fugas internas

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

Un inyector defectuoso puede dañar el electrodo de la bujía de incandescencia; por lo tanto si ha habido problemas con los inyectores en motores de inyección indirecta deberá comprobarse el estado de dichas bujías.

5.3.5.1.6. Prueba de Caudal

Se ha descrito ya que si los inyectores no suministran la cantidad de combustible correcta para el proceso de combustión, el rendimiento del motor sufre pérdida de potencia y mayor consumo de combustible.

Por este motivo a los inyectores se les debe someter a una prueba que sea capaz de determinar si entregan la cantidad de combustible necesaria bajo cierto régimen de trabajo. Para este fin, es necesario contar con un sistema que simule el trabajo de un inyector, de aquí que se hace necesario incorporar un generador electrónico de pulsos, que garantice la apertura y cierre de los inyectores; y de un sistema de bombeo de combustible, que nos permita alimentarlos, para ver el caudal de combustible que están entregando.



Fig. 5.33. Prueba de caudal

<http://www.iespana.es/mecanicavirtual>

5.4. LIMPIEZA DE INYECTORES

En la actualidad existen tres alternativas para conseguir la limpieza de inyectores a gasolina, a saber:

- a) Limpieza con solvente – combustible con bomba externa
- b) Limpieza con solvente – combustible con compresión de aire
- c) Limpieza por Ultrasonido y solvente en banco de pruebas

A continuación una breve descripción de cada una de estas alternativas.

5.4.1. LIMPIEZA CON SOLVENTE-COMBUSTIBLE CON BOMBA EXTERNA

Para este tipo de limpieza es necesario desconectar la línea de combustible del automóvil y luego se conecta la alimentación de combustible a una bomba externa la cual será controlada por el operario encargado de realizar la limpieza.

También es necesario desconectar el fusible de la bomba de combustible del vehículo y taponar la línea de retorno.

Una vez ejecutados estos pasos, se procede a encender el motor y la bomba externa hasta que la mezcla se termine, así que es el solvente combustible el encargado de la limpieza de inyectores.

Para realizar el balance de inyectores se debe extraer la riel de combustible del auto y comprobar la inyección en probetas graduadas, así también se puede verificar la forma de inyección.

Durante esta prueba se debe tener en cuenta que el solvente-combustible no debe dañar el sensor de oxígeno, por lo que esta manera de limpiar los inyectores no resulta muy ventajosa al depender de los otros sistemas delicados de un automóvil.

5.4.2. LIMPIEZA CON SOLVENTE-COMBUSTIBLE CON COMPRESIÓN DE AIRE

Para la limpieza con solvente-combustible con compresión de aire, se lo conecta a la línea de alimentación de inyectores. Al igual que la alternativa anterior, la bomba de combustible debe estar desconectada y la línea de retorno tapada.

Se debe dar marcha al motor en ralentí hasta que se termine la mezcla y luego proceder a analizar el balance de los inyectores, desmontándolos del motor.

5.4.3. LIMPIEZA DE INYECTORES POR ULTRASONIDO

Este es el método de limpieza más eficiente y eficaz que se ha desarrollado en los últimos años.

Después de haber comprobado el funcionamiento de los inyectores, éstos son colocados en la cuba de limpieza ultrasónica diseñada específicamente para tales fines.

El proceso de limpieza por ultrasonido, que trabaja conjuntamente con el sistema generador de pulsos, se encargan de la limpieza interna de los inyectores, destruyendo todas las partículas y agentes contaminantes cristalizados que se encontraban en el interior de los mismos e impedían el flujo de combustible a través de estos; devolviéndoles el correcto funcionamiento.

Este proceso de limpieza destruye la piedra que se forma, (por la cristalización de los agentes contaminantes), y salen por la parte superior de los mismos.

En la siguiente figura, se muestra una fotografía de los resultados que se obtienen en los inyectores luego de ser sometidos a una limpieza ultrasónica. Se puede apreciar como se han quitado las partículas contaminantes

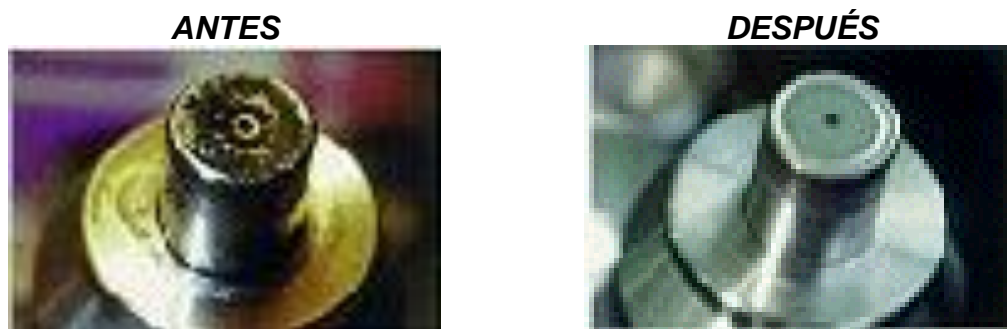


Fig. 5.34. Resultados de la limpieza ultrasónica

<http://www.inyectomotriz.com>

El tiempo que dura el proceso de limpieza ultrasónica, depende de la frecuencia de trabajo y de la potencia de los transductores piezoeléctricos. Por lo general, se habla de una frecuencia promedio de 40 KHZ, con una potencia entre 70 y 100 W, lo que produce un tiempo de limpieza estimado entre 10 y 20 minutos.

Después de que los inyectores son sometidos a la limpieza por ultrasonido, se vuelve a comprobar la existencia de fugas, calidad de la atomización, caudal de combustible y el funcionamiento electrónico de los mismos.

ANTES

DESPUÉS

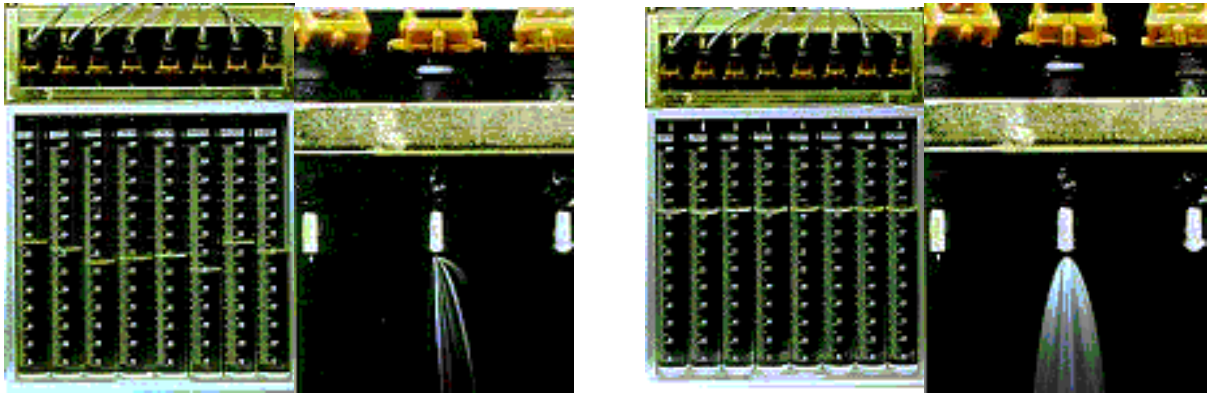


Fig. 5.35. Funcionamiento de inyectores antes y después de limpieza ultrasónica

<http://www.inyectomotriz.com>

Una vez que se considere que los inyectores funcionan correctamente estando ajustados y calibrados, los inyectores estarán listos para ser montados de nuevo en el vehículo. Antes de instalar los inyectores en el vehículo, se deben reemplazar las partes del inyector por unas nuevas como son: el filtro de entrada, puntas protectoras, arandelas y sellos.

5.4.4. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

En la tabla se puede apreciar los factores de comparación para la selección de la alternativa más adecuada.

FACTOR DEL PROCESO	Peso (f)	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
		Factor (F1)	f x F1	Factor (F2)	f x F2	Factor (F3)	f x F3
Costo de Operación	0.8	9	7.2	8	6.4	6	4.8
Facilidad de Operación	0.6	7	4.2	6	3.6	4	2.4
Efectividad	1.0	4	4.0	3	3.0	9	9.0
Verificación de resultados	1.0	3	3.0	3	3.0	9	9.0
Tiempo de Operación	0.6	7	4.2	6	3.6	2	1.2
Seguridad en Operación	1.0	3	3.0	3	3.0	9	9.0
TOTAL			25.6		22.6		35.4

Tabla 5.1. Cuadro comparativo alternativas de limpieza de inyectores

<http://www.inyectomotriz.com>

De los datos registrados en la tabla podemos concluir que de los tres métodos descritos, la limpieza de inyectores por ultrasonido es la única manera de garantizar que éstos queden realmente limpios y retornen a su condición original.

CAPÍTULO 6

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA INYECTORES A GASOLINA

6.1. INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior, se analizó las alternativas de limpieza de inyectores, y se obtuvo como conclusión, que un sistema por ultrasonido es el más efectivo en resultados, ya que garantiza el correcto funcionamiento de los mismos. Del mismo modo se explica los criterios de evaluación del trabajo de un inyector y las pruebas necesarias a las que deben ser sometidos.

En este capítulo, se desarrolla el diseño y la construcción del banco de pruebas de inyectores a gasolina, en el cual se podrá evaluar y corregir el funcionamiento de los mismos.

El objetivo de construir este banco de pruebas, es poder realizar las pruebas que garanticen un correcto funcionamiento de un inyector, tales como: prueba de caudal, de fugas, de funcionamiento electrónico, presión de apertura, etc.

Para el desarrollo de este banco, se deben tener en cuenta los parámetros funcionales que éste debe brindar para poder simular una condición de trabajo real de los inyectores.

6.2. PARÁMETROS FUNCIONALES

El banco de pruebas a construirse constará de dos sub-sistemas que serán los encargados de simular la condición de trabajo de un inyector. A estos sub-

sistemas, se les sumará un tercer modulo, el de limpieza por ultrasonido, que trabajará en conjunto con los dos anteriores.

De esta manera, el banco de pruebas estará conformado por tres módulos independientes:

- a) Sistema generador de pulsos electrónicos
- b) Sistema de bombeo de combustible
- c) Sistema de limpieza por ultrasonido

6.2.1. SISTEMA GENERADOR DE PULSOS ELECTRÓNICOS

Este sistema es el que se encarga de simular las funciones de la UCE de un vehículo, es decir, que será el encargado de generar las señales eléctricas que llegan a los inyectores para producir la apertura y cierre de los mismos.

Este generador de pulsos electrónico debe estar en la capacidad de aumentar y/o disminuir el régimen de trabajo de un inyector, por lo que debe tener un regulador de frecuencia de señal. Este regulador será el encargado de variar los tiempos de apertura y cierre del inyector.

Mediante este sistema se puede realizar la prueba de funcionamiento electrónico de los inyectores.

6.2.2. SISTEMA DE BOMBEO DE COMBUSTIBLE

Este sistema será el encargado de simular el bombeo real de combustible de un vehículo. Constará lógicamente de una bomba de combustible, una válvula reguladora de presión, un manómetro y mangueras de distribución del combustible hacia los inyectores.

Con este sistema es posible realizar las pruebas de presión de apertura y control de fugas de los inyectores.

En conjunto con el sistema generador de pulsos, se podrá realizar las pruebas de caudal de combustible entregado en un tiempo y régimen de trabajo determinados.

La presión del sistema deberá estar en un rango entre 30 a 60 psi, para garantizar un óptimo desempeño del equipo.

6.2.3. SISTEMA DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO

Este sistema es el que se ha desarrollado en los capítulos anteriores de este proyecto, y es el que en conjunto con el sistema generador de pulsos electrónicos, garantizan una profunda limpieza de los inyectores, para devolverlos a su condición inicial de trabajo.

6.3. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Los requerimientos funcionales para el equipo a diseñarse son:

- Mantenimiento mínimo del equipo : Preventivo
- Tipo de energía utilizada : Bateria 12V/ min. 25A
- Condiciones de operación moderadas.
- Equipo de fácil utilización
- Montaje y desmontaje práctico
- Bajos costos de operación
- Operación segura del equipo.

6.4. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS

6.4.1. DISEÑO SISTEMA GENERADOR DE PULSOS

Se debe diseñar un circuito que esté en la capacidad de enviar la señal necesaria para activar las bobinas de los inyectores, para que éstos se abran o se cierren al paso de combustible.

El circuito diseñado debe simular la onda cuadrada que se envía desde la computadora del automóvil a los inyectores, así como también tener la capacidad de simular los cambios en la frecuencia de inyección que en un motor real provienen de los análisis de temperatura, velocidad y aceleración.

Es por este motivo que se debe crear un generador de pulsos que envíe una señal de apertura y cierre de los inyectores bajo varios regimenes de trabajo.

Para lograr este principio, vamos a utilizar el siguiente circuito, el cuál cumple con las características antes mencionadas:

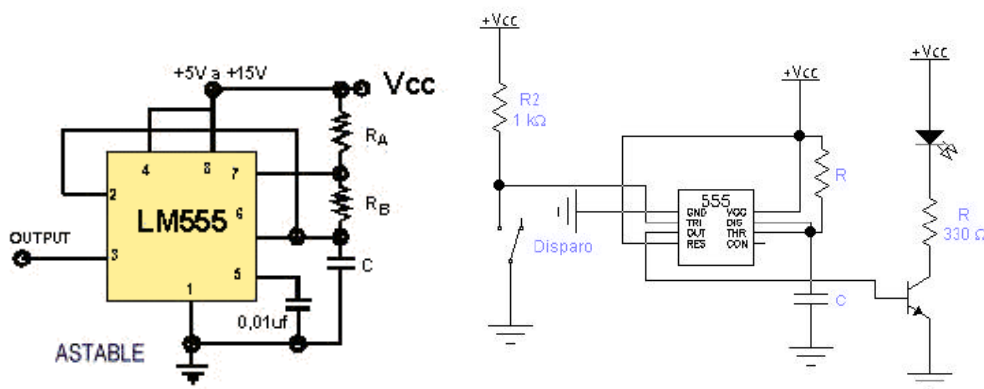


Fig. 6.1. Diseño de circuito generador de pulsos

El funcionamiento de este circuito es bastante sencillo, la configuración del integrado 555 como astable o redisparable, permite que el mismo funcione como un generador de ondas cuadradas, ya que al unir los terminales 2 y 6 del circuito éste se auto dispara y trabaja como multivibrador.

Esta configuración del 555, a grandes rasgos, genera una señal cuadrada en el tiempo, es decir, a su salida (pin 3), se dispone de una serie de pulsos de onda cuadradas con un ciclo de tiempo de trabajo que viene determinado por la formula:

$$f = 1/T = 1.44 / [C*(Ra+2*Rb)] \quad (\text{ec. 6.1.})$$

El condensador C1 se carga a través de Ra + Rb y se descarga a través de Rb. De esta forma dimensionado de manera correcta los valores de Ra y Rb, se pueden modificar a voluntad el ciclo de trabajo (duración estado alto – duración estado bajo).

La señal de salida tiene como valor alto el mismo voltaje que se aplica, es decir Vcc, y como valor bajo llegará aproximadamente a 0 V. Para determinar los tiempos de duración alto y bajo (apertura y cierre inyectores), se debe aplicar las fórmulas:

Salida a nivel alto: $t_1 = 0.693*(Ra+Rb)*C$ (ec. 6.2.)

Salida a nivel bajo: $t_2 = 0.693*Rb*C$ (ec. 6.3.)

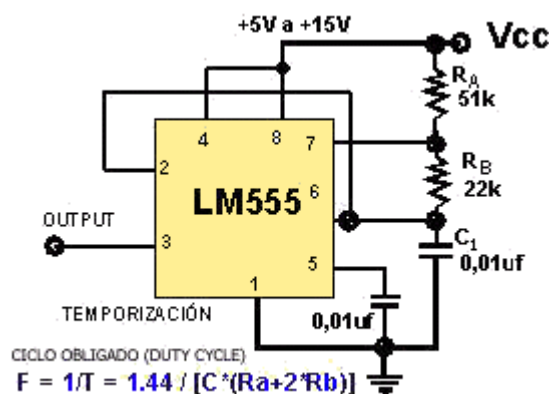


Fig. 6.2. Cálculo frecuencia de oscilación del generador de pulsos

En la siguiente figura se presenta la representación de la onda de salida del generador de pulsos considerando un ciclo de trabajo de 50% (duty cycle). La duración del estado alto depende de R_a y R_b , mientras que la duración del estado bajo depende de R_b .

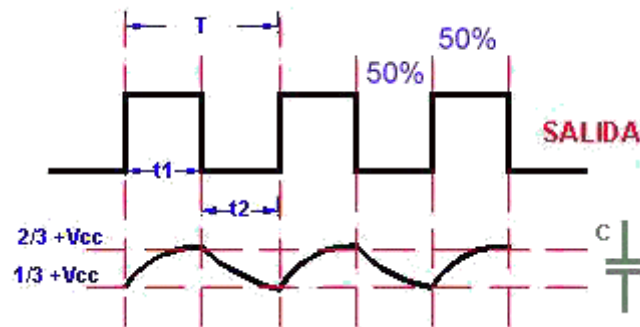


Fig. 6.3. Señal a la salida del 555

Esta particularidad de poder establecer la frecuencia de trabajo, es la que se aprovecha de este circuito para la generación de los pulsos para la apertura de los inyectores.

Se procede entonces a determinar las frecuencias de trabajo que va a brindar el generador de pulsos. Se establece que el mínimo tiempo de apertura del inyector que podrá generar el sistema es de 3 ms aproximadamente, y el máximo tiempo de apertura cercano a ms.

Con estos valores se puede establecer los límites de frecuencia de trabajo del equipo, es decir, para producir un tiempo de apertura en el inyector de 3 ms, el período de trabajo será de de 6 ms (tiempo de apertura + tiempo de cierre). Por lo que se establece que para la condición máxima de trabajo, 15 ms, se necesitará un período cercano a 16 ms, con un ciclo de trabajo de 90%.

Una vez establecidos los períodos de trabajo, se determina las frecuencias necesarias, con lo que se puede establecer los valores correctos de R_a , R_b y C_1 .

Se tiene en cuenta que la respuesta de apertura - cierre en un inyector debe ser inmediata por lo que se presenta la necesidad de que el capacitor C_1 se

cargue y se descargue de manera rápida, lo que se consigue utilizando un condensador de baja capacitancia, por este motivo, se va a utilizar un capacitor de 4,7 μF .

Una vez establecido el valor del capacitor, se puede determinar los valores de las resistencias.

(ec. 6.4.)

<u>Período: 6 ms</u>	<u>Período: 16 ms</u>
Frecuencia = 135 Hz (aprox.)	Frecuencia = 60 Hz (aprox.)
$t_2 = 0.694 \cdot R_2 \cdot C_1$	$t_2 = 0.694 \cdot R_2 \cdot C_1$
$t_2 = 0.003 \text{ seg}$	$t_2 = 0.003 \text{ seg}$
$0.003 = 0.694 \cdot R_2 \cdot C_1$	$0.003 = 0.694 \cdot R_2 \cdot C_1$
$C_1 = 4.7 \times 10^{-6} \text{ F}$	$C_1 = 4.7 \times 10^{-6} \text{ F}$
$R_2 = \frac{0.003 \text{ seg}}{0.694 \cdot 4.7 \cdot 10^{-6}}$	$R_2 = \frac{0.003 \text{ seg}}{0.694 \cdot 4.7 \cdot 10^{-6}}$
$R_2 = 919.8 \Omega$	$R_2 = 919.8 \Omega$
$R_2 \approx 1 \text{ K}\Omega$	$R_2 \approx 1 \text{ K}\Omega$
$f = \frac{1.44}{C \cdot (R_1 + 2 \cdot R_2)}$	$f = \frac{1.44}{C \cdot (R_1 + 2 \cdot R_2)}$
$R_1 = \frac{1.44}{C \cdot f} - 2 \cdot R_2$	$R_1 = \frac{1.44}{C \cdot f} - 2 \cdot R_2$
$R_1 = \frac{1.44}{4.7 \cdot 10^{-6} \cdot 135} - 2 \cdot 1000$	$R_1 = \frac{1.44}{4.7 \cdot 10^{-6} \cdot 60} - 2 \cdot 1000$
$R_1 = 269 \Omega$	$R_1 = 3106 \Omega$
$R_1 = 220 \Omega$	$R_1 = 3 \text{ K}\Omega$

Entonces queda determinado que podemos armar el circuito, utilizando una resistencia variable de 3K (potenciómetro), una resistencia de 1K y un condensador de 4,7 μ F.

A continuación se presenta un esquema del circuito principal del generador de pulsos.

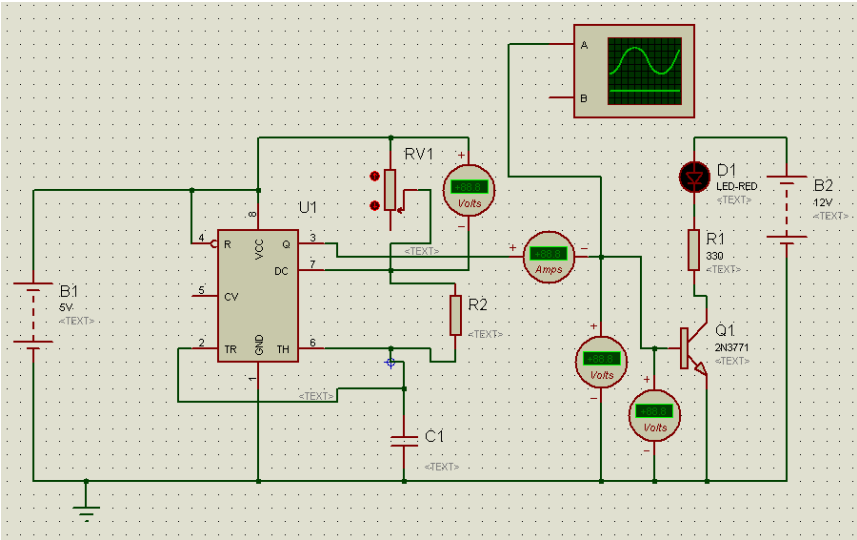


Fig. 6.4. Circuito Generador de Pulsos en Proteus VSM software

En la siguiente figura se puede apreciar una simulación del circuito anterior:

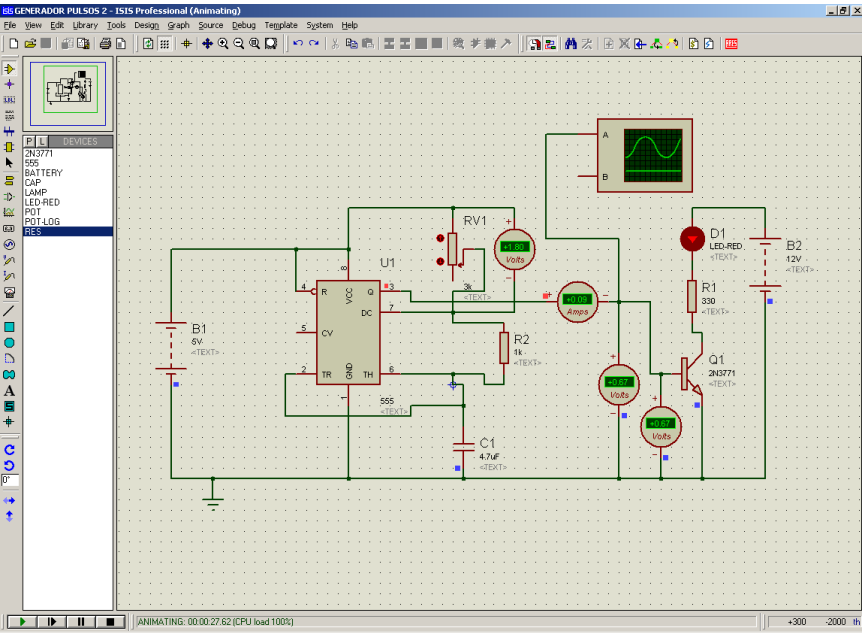


Fig. 6.5. Simulación Circuito Generador de Pulsos en Proteus VSM software

Con el software Proteus se puede visualizar la frecuencia de pulsación a la salida del circuito integrado 555, con lo que podemos determinar el voltaje y el período para cada configuración. El período variará en función de la variación de R_1 .

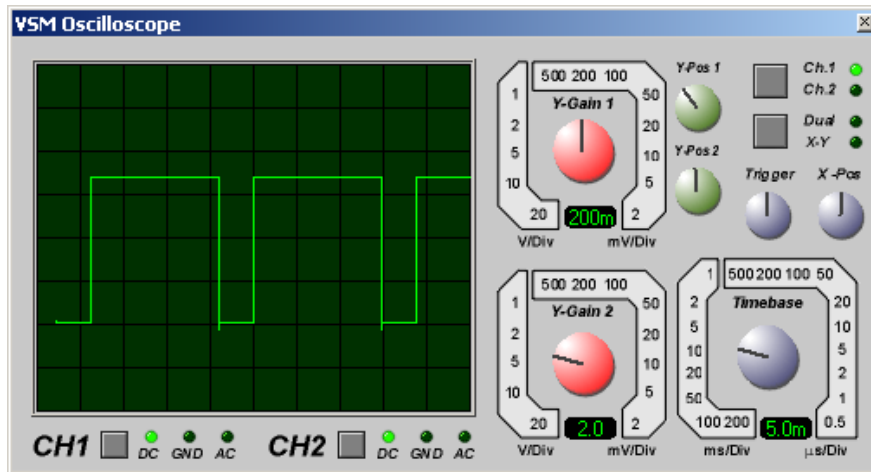


Fig. 6.6. Forma Onda salida del integrado 555 ($R_1 = 3K$), osciloscopio Proteus VSM

La gráfica anterior, nos indica la onda cuadrada a la salida del integrado 555, cuando se ha establecido una resistencia de 3K en R_1 (variable). De esta gráfica podemos ver que el voltaje que está saliendo es de 0.67 V (necesario para polarizar el transistor), además se establece que el tiempo de apertura de los inyectores sería de 15 ms, y el de cierre de 3 ms, lo que da un período de 18 ms, y el equipo esta dentro de la frecuencia diseñada ($56 \text{ Hz} \approx 60 \text{ Hz}$).

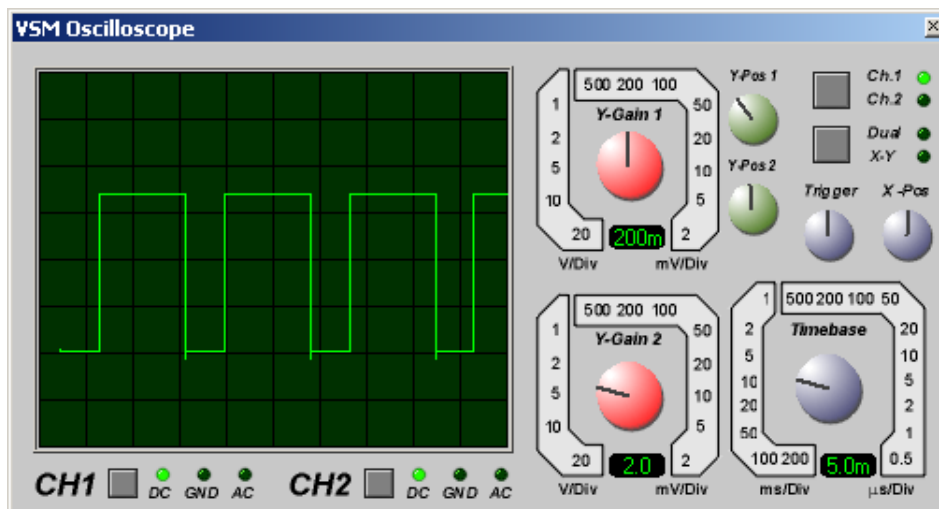


Fig. 6.7. Forma Onda salida del integrado 555 ($R_1 = 220\Omega$), osciloscopio Proteus VSM

La gráfica anterior, nos indica la onda cuadrada a la salida del integrado 555, cuando se ha establecido una resistencia de 220Ω en R1 (variable). De esta gráfica podemos ver que el voltaje que está saliendo es de 0.67 V (necesario para polarizar el transistor), además se establece que el tiempo de apertura de los inyectores sería de 5 ms , y el de cierre de 3 ms , lo que da un período de 8 ms , y el equipo está dentro de la frecuencia diseñada ($127 \text{ Hz} \approx 130 \text{ Hz}$).

El principio de funcionamiento de este circuito se lo aplica para el número de inyectores que se va a alimentar con el generador de pulsos, es decir, en este caso 6. Por lo que la tarjeta impresa contendrá en si 6 circuitos similares al anterior, para garantizar así el correcto y simultáneo trabajo de los inyectores.

Para el control de los parámetros de inicio y/o control de trabajo por tiempo, se añade al circuito anterior el siguiente diagrama, el cual será el encargado de controlar el correcto trabajo del generador de pulsos.

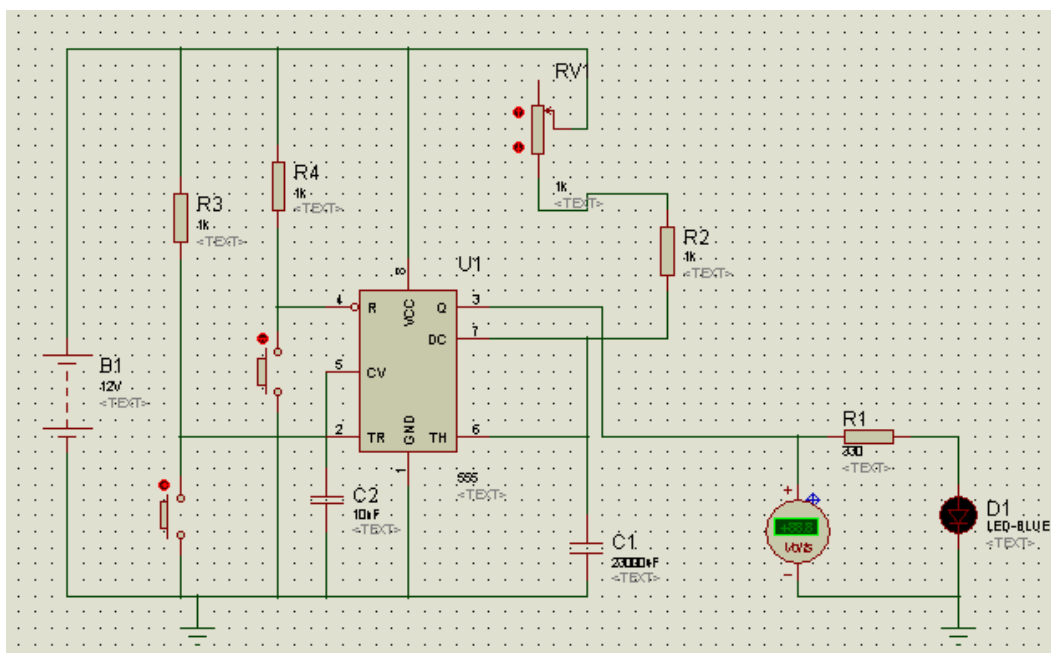


Fig. 6.8. Diseño circuito de control de encendido y tiempo de trabajo

Este circuito es similar al anterior, la diferencia está en la configuración del integrado 555, que en este caso se encuentra como monoestable, y su aplicación directa es la de ser un timer (control de tiempo).

El tiempo estará determinado por la relación:

$$T = 1.1 \cdot R \cdot C \quad (\text{ec. 6.4.})$$

Por lo que mediante esta relación se determina los valores para los tiempos de trabajo, que en el equipo serán de 2 seg a 30 seg (aprox.), por lo que se necesita un nuevo regulador de tiempo, que es la resistencia variable RV_1 del circuito anterior.

En la siguiente gráfica una simulación del circuito de control, en la que un led permanece encendido durante el tiempo de trabajo determinado a través de las resistencias y el condensador.

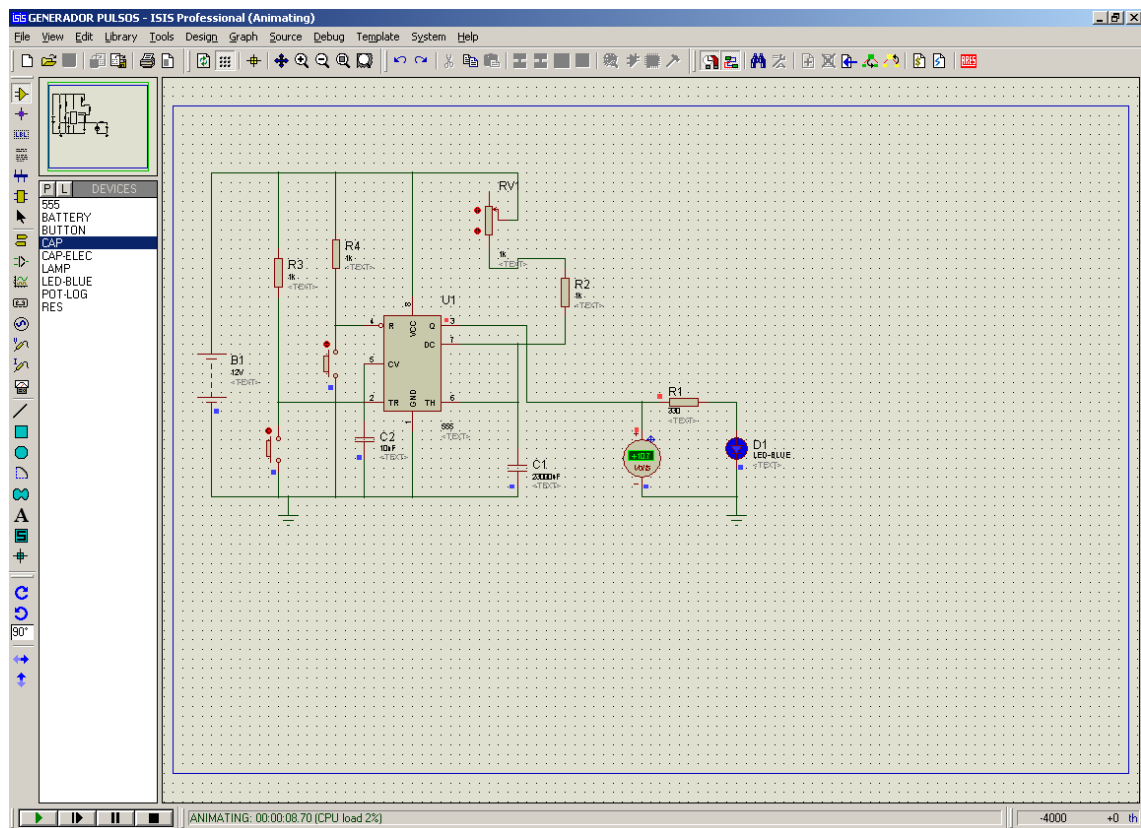


Fig. 6.9. Simulación del circuito de control de encendido y tiempo de trabajo

Una vez diseñado el circuito generador de pulsos y el circuito de control, se puede obtener el circuito final, del cual se va a fabricar la tarjeta PCB.

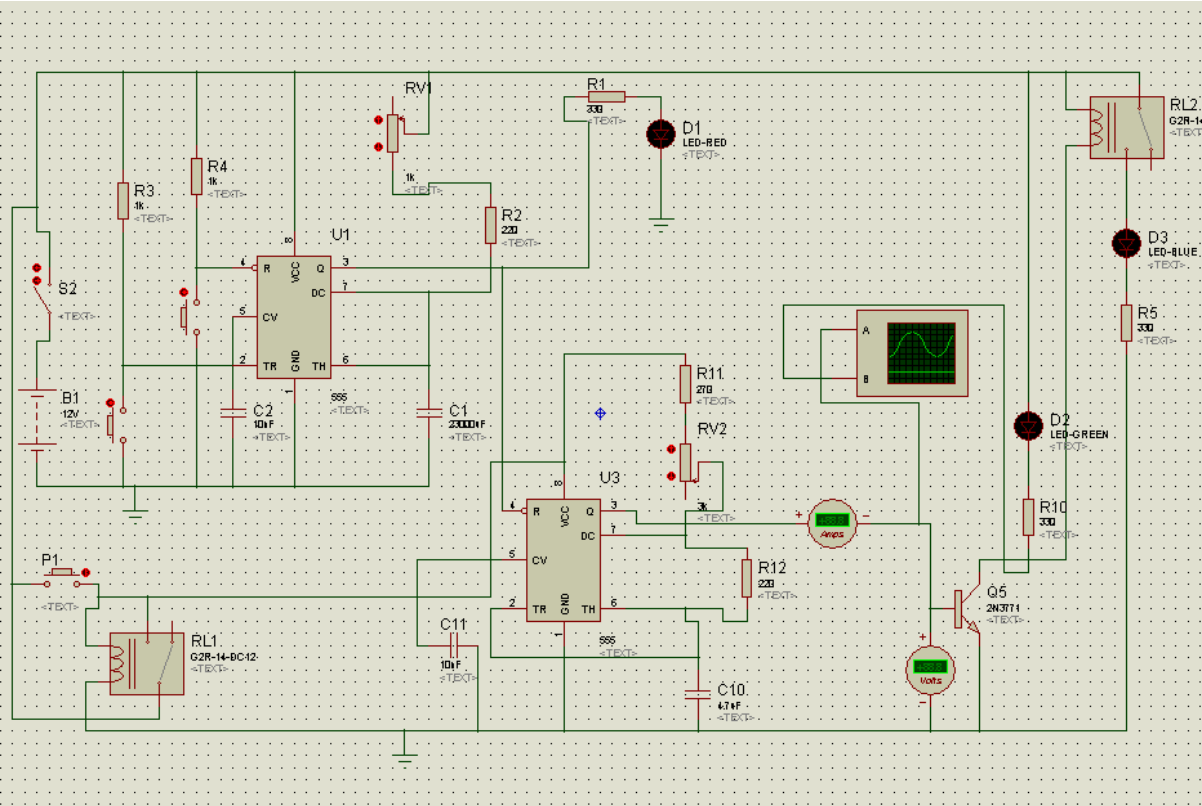


Fig. 6.10. Diseño circuito final del generador de pulsos y control de tiempo y frecuencia

Del circuito anterior, cabe destacar que el Rele RL2, es el que simula a la bobina del inyector en apertura y cierre, y el led D3 indicaría la inyección de combustible. Además se ha colocado el switch de encendido principal S2.

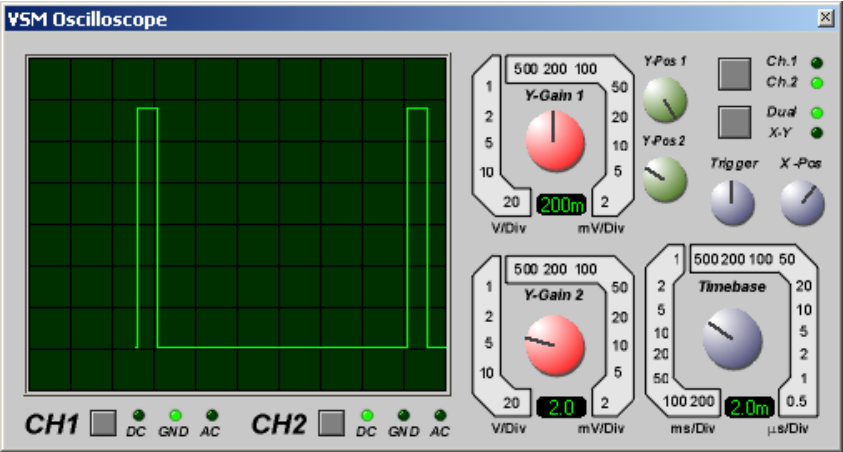


Fig. 6.11. Frecuencia de salida en la bobina de inyector (Rele R3)

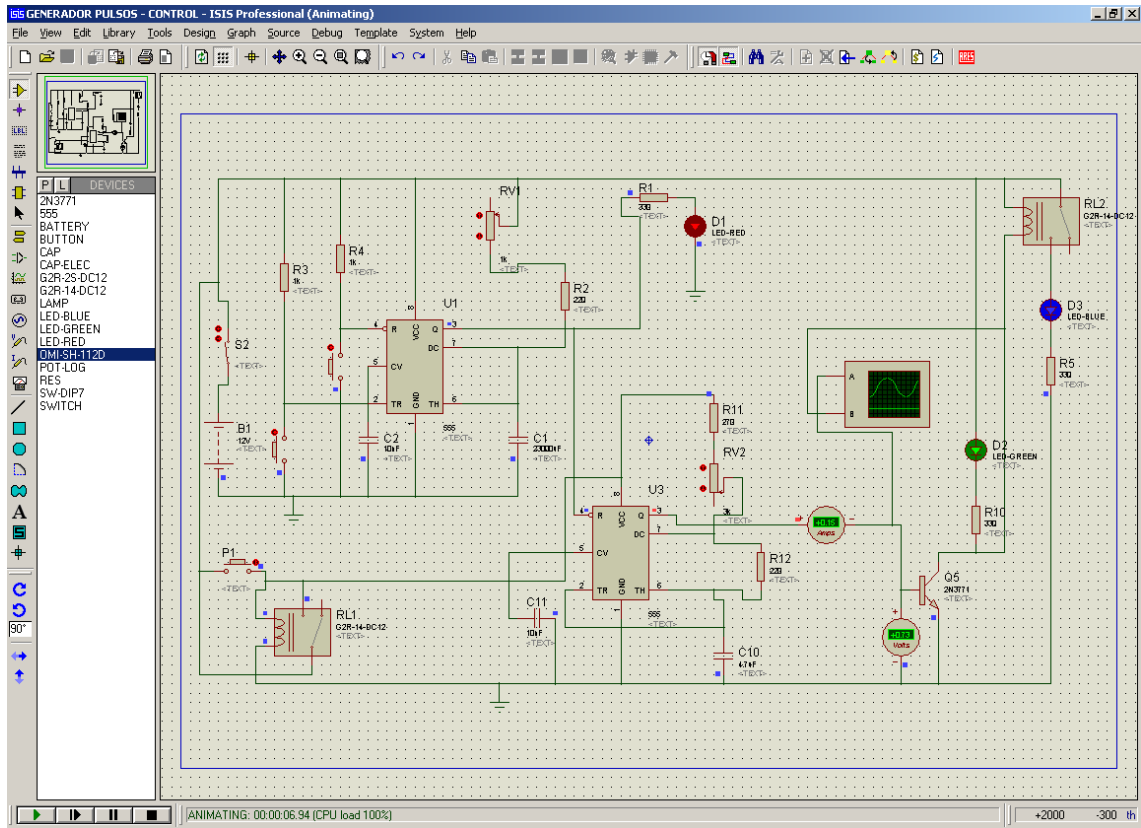


Fig. 6.12. Simulación del circuito de generador de pulsos y control tiempo y frecuencia

Una vez calibrados todos los parámetros, podemos proceder al diseño de la PCB del circuito generador de pulsos, mediante la ayuda del software Proteus VSM.

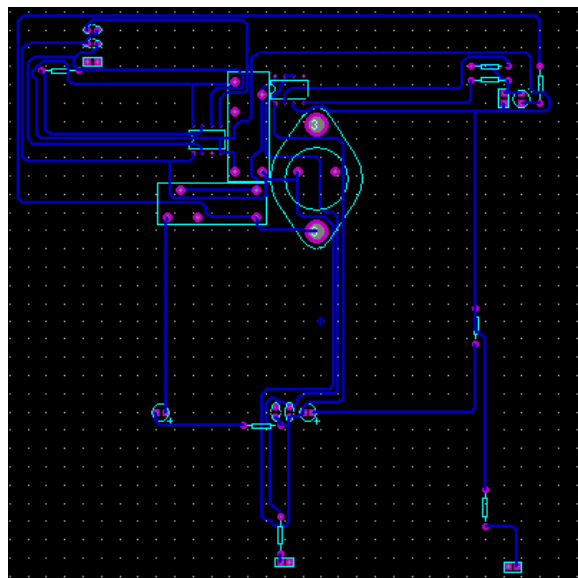


Fig. 6.13. Diseño de placa PCB para el generador de pulsos

6.4.2. DISEÑO SISTEMA DE BOMBEO DE COMBUSTIBLE.

Para este sistema se elaboro un esquema básico del funcionamiento de la bomba a gasolina, la cual debería simular el mismo tipo de trabajo en el motor que en el banco de pruebas, se utiliza un deposito plástico para la mejor manipulación, en el se colocaría el liquido limpiador de inyectores y en la tapa del deposito se insertaría la bomba de tal forma que realizando dos orificios en ella se puedan colocar las dos salidas de la bomba el positivo y el negativo los cables que son necesarios para la conexiones respectivas como entrarían a presión a la tapa (plástica) el agujero de salida de presión de la bomba quedaría por debajo de ella siendo a si un libre ducto de presión si es que la hubiere con la seguridad de que la tapa no dejara salir el liquido, la bomba tiene una capacidad de trabajo máxima de presión de 15 a 125 (psi), y la bomba tiene un filtro adicional que está conectado a ella dentro del recipiente obstaculizando cualquier partícula que pudiera estar en el liquido y afectar al buen desempeño de la bomba.

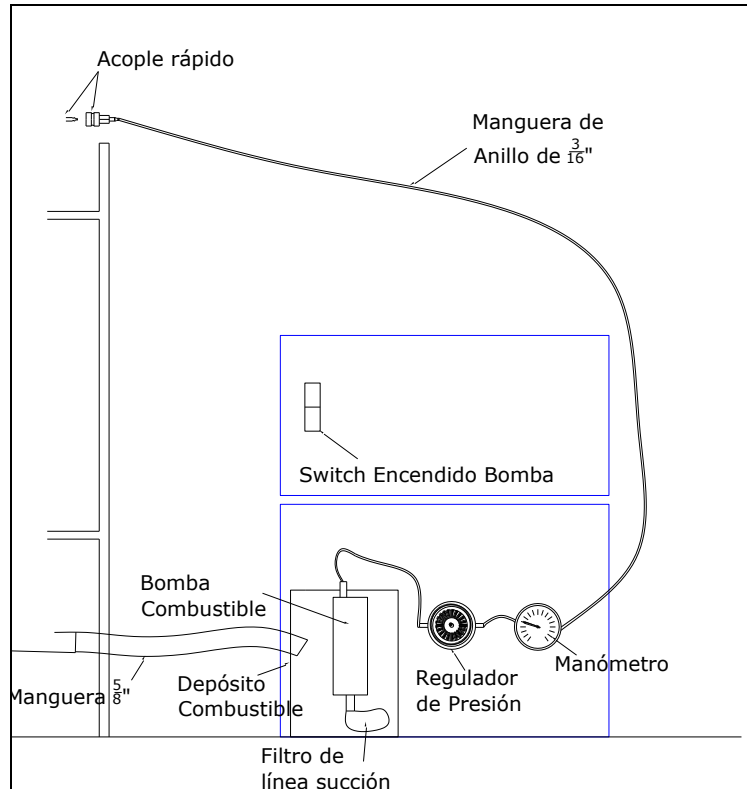


Fig. 6.14. Esquema de diseño del sistema de bomba de combustible

De las mangueras que se encuentra en el mercado, no todas nos sirven para el sistema, ya que al ser un sistema presurizado y el líquido interno expandir ciertos tipos de plásticos, podrían darse grandes fugas, lo que podría ser peligroso para el usuario del equipo.

Para el sistema de trabajo se utilizan dos tipos de manguera:

- a) manguera flexible de inyección de combustible (fuel inyección) es de $\frac{1}{4}$ "
- b) manguera de anillo de $\frac{3}{16}$ "

La capacidad de trabajo de presión es alta y no tiene ningún inconveniente con presiones altas ya que estas mangueras trabajan con presiones elevadas de hasta 300 psi. Se acota que tanto las mangueras como la bomba trabajaran a una presión máxima de 50 psi, que es la presión mas adecuada en el ciclo de bombeo para la limpieza de los inyectores.

De la salida de presión de la bomba se coloca manguera fuel inyección $\frac{1}{4}$ " que se conecta a un filtro de combustible para automóvil, para que por su propiedad filtrante se garantice la pureza del líquido, la manguera de salida esta sujeta con abrazaderas las cuales con una adecuada manipulación garantiza la no fugas del líquido pretendiendo así no tener bajas de presión o pérdidas.

En la salida del filtro se coloca manguera full inyección $\frac{1}{4}$ ", aquí aparece el primer juego de acoples, para formar un reductor que tendrá a su entrada $\frac{1}{4}$ " de diámetro y a su salida $\frac{3}{16}$ ", a partir de este punto, se utiliza manguera de anillo de $\frac{3}{16}$ ", que soporta una presión de trabajo 300 (psi) y su flexibilidad a la manipulación es óptima.

La manguera de $\frac{3}{16}$ " se conecta al regulador de presión, cabe destacar que en este punto se realizó un trabajo especial para poder trabajar con un regulador normal de aire, el cual permite una mejor regulación del caudal y presión con la que fluye el líquido de limpieza. Los cambios que se deben hacer al regulador de aire es tapar el orificio de liberación de aire y colocar tapones los orificios que no intervienen en el control de flujo,

Para la unión manguera de anillo-regulador, a éste ultimo se le deben adicionar bushins, que trabajarán como acoples reductores de 1/4" a 3/16", quedaría entonces una entrada y la respectiva salida en el regulador la cual a esta se le continúa acoplando manguera de 3/16"

Para poder visualizar la presión de trabajo que se está generando en el circuito hidráulico se conecta el manómetro en la línea de salida del regulador, para esto utilizamos un accesorio tipo T, al cual se le une un acople de adaptación 3/16" a 1/4", ya que la entrada del manómetro utilizado es de este diámetro.

El manómetro opera entre 0 y 150 psi (0 bar a 10 bar), la escala es de fácil apreciación y la visualización es buena y de factible interpretación.

En el otro extremo del acople (T) se coloca manguera de 3/16" con su respectiva anillo de sello, la manguera está paulatinamente ensamblada hacia un acople rápido de 1/4", el cual esté o no conectado a la barra de sujeción de inyectores (riel de inyección), garantiza que la presión de salida del regulador será la misma y se mantendrá en todo el sistema hidráulico.

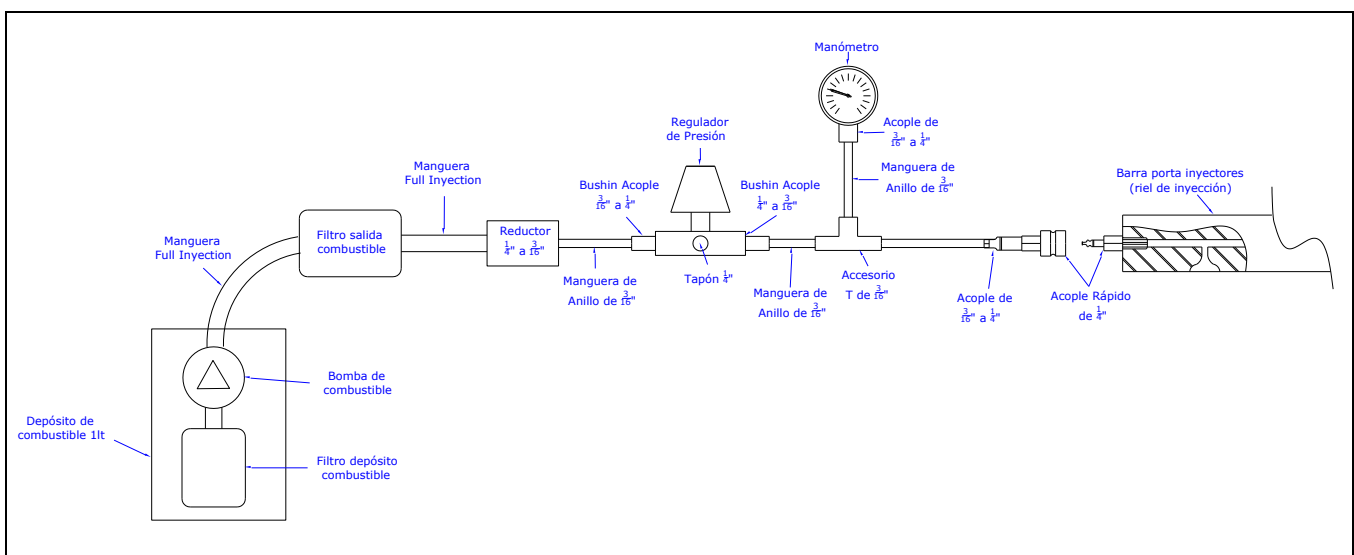


Fig. 6.15. Sistema de bomba de combustible, acoples y mangueras.

La barra de sujeción de inyectores, la cual se conecta al acople rápido, es de aluminio, su maquinación es sencilla y económica; a esta barra se sujetan los

inyectores de tal forma que entran a presión y garantiza no fugas en sus anillos.

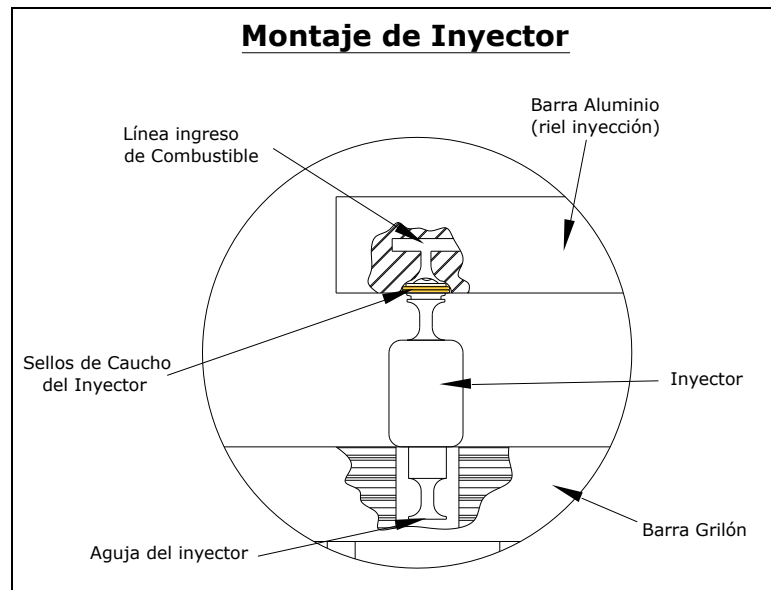


Fig. 6.16. Montaje de inyector en barra porta inyectores.

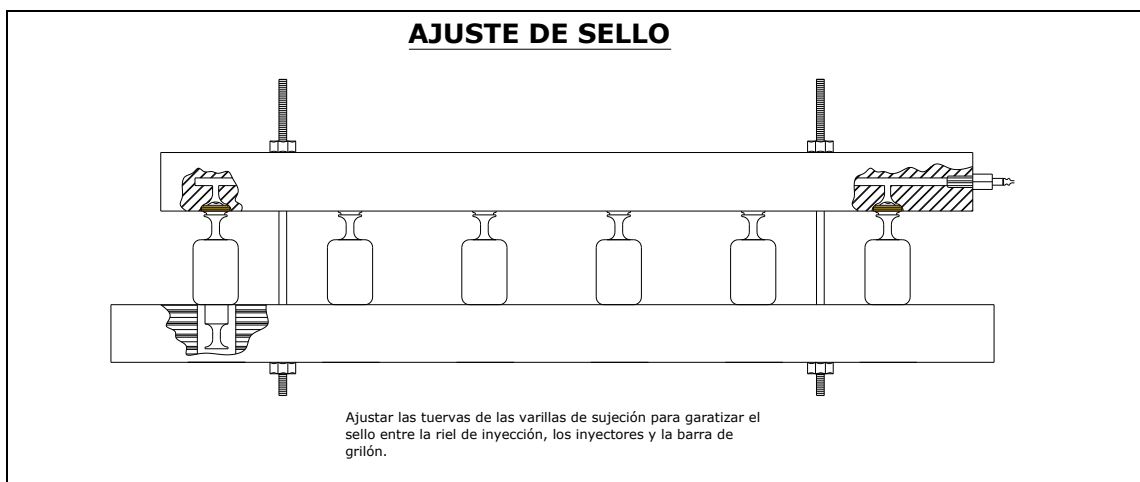


Fig. 6.17. Ajuste de inyectores entre riel de inyección y barra de grilón.

Cada uno de los 6 inyectores es colocado de tal manera que ingresen en las agujeros de la barra superior de grilón sujeta a la estructura. Las probetas graduadas tienen una capacidad de 100 (mml), su diámetro es de 30 (mm) y 230 (mm) de altura. Su parte superior e inferior se encuentra embonada por anillos de caucho pre elaborados maquinado y torneado en aluminio, la medida correspondiente es 38 (mm) diámetro externo, 30 (mm) diámetro interno y 12

(mm) en su altura con espesor 0.2 (mm), grado de dureza del caucho 70 para mejor maleabilidad y flexibilidad, las cuales garantizan sello.

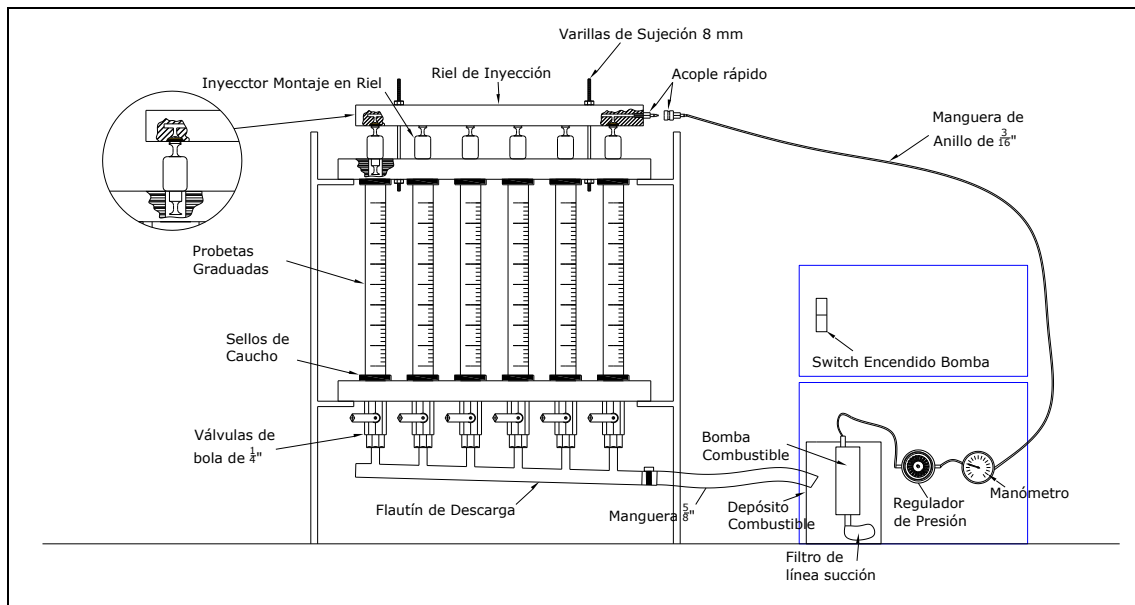


Fig. 6.18. Esquema montaje final del banco de pruebas para inyectores a gasolina.

Es importante que no exista fuga ya que las bajas de presión afectan las mediciones en los instrumentos de medida. Al final de cada probeta graduada con anillos de caucho pre elaborados, se encuentran válvulas de bola las cuales liberan el líquido luego de ser realizadas las pruebas, el desfogue va hacia un flautín de cobre para evitar la corrosión por el líquido, el flautín tiene una declinación de 1 (cm) en su extremo para que por gravedad el liquido de cause.

La flauta o múltiple se conecta a manguera plástica de 5/8" y esta paulatinamente al reservorio plástico, serrando de esta forma el ciclo de alimentación hidráulica del banco de pruebas.

6.5. CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

6.5.1. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE PULSOS

Una vez realizadas las placas PCB, (tarjeta electrónica) mediante método de fotograbado y posterior ataque con ácido clorhídrico, se obtiene las placas de circuito impreso, en las cuales se debe colocar los elementos electrónicos.

Una vez colocados todos los elementos, se obtuvo la tarjeta electrónica indicada en la figura.

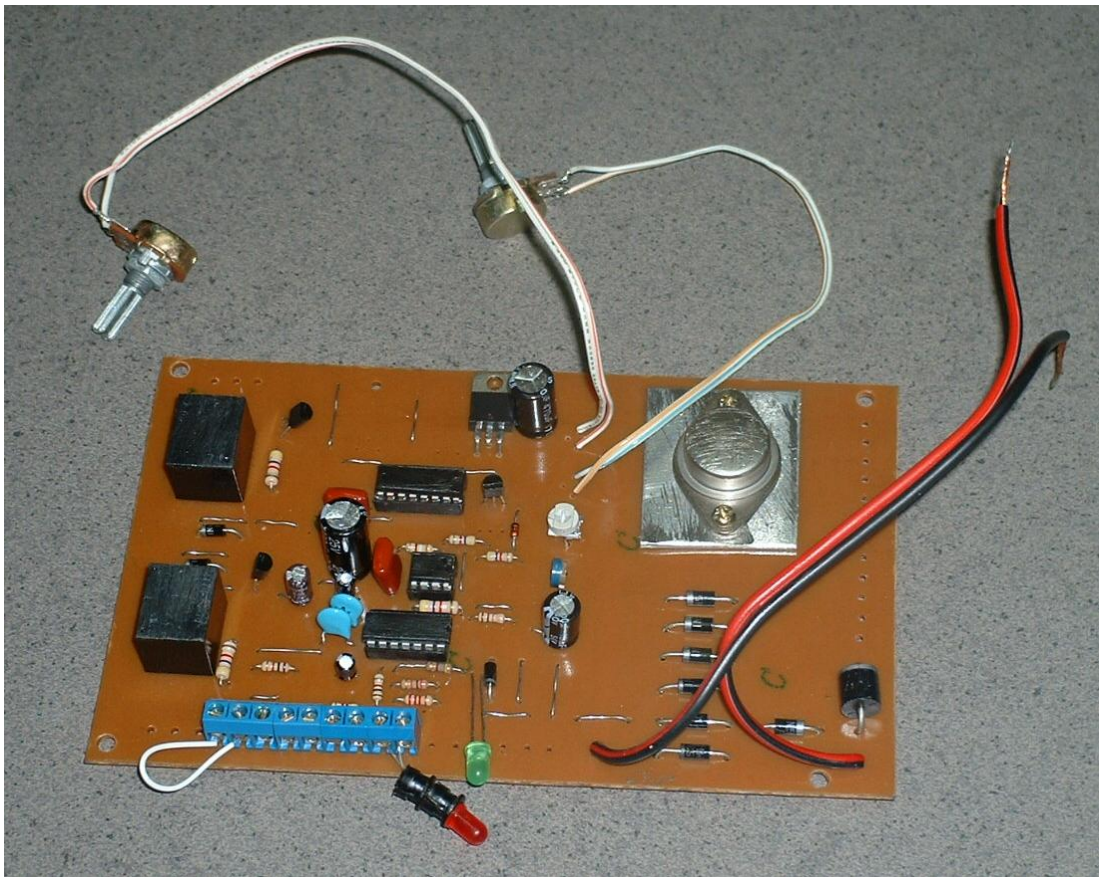


Fig. 6.19. Fotografía tarjeta electrónica del generador de pulsos

Posteriormente a esta tarjeta se le coloca en la caja de acrílico, previamente diseñada y fabricada, colocando además los switches y perillas de control, de tiempo y frecuencia de trabajo.

6.5.2. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO

Al tener el diseño de los sistemas ya establecidos se procede a la construcción, en este caso al bombeo de combustible.

Para estos fines se puede decir que todos los materiales e implementos a utilizarse se encontraron en el mercado nacional, por lo cual facilito la construcción del mismo.

6.5.2.1. Selección de la Bomba de Combustible

La bomba de combustible seleccionada tiene características específicas tales como ser una bomba electro sumergible, tiene una capacidad de trabajo a presión de 100 (psi), esta protegida con un filtro en la parte inferior de ella, y por su forma es muy aceptable para que ingrese en el reservorio de combustible, se ajusta a los requerimientos del sistema ya que es una bomba automotriz de susuki forza (repuesto) y para su manipulación es muy versátil y tiene adaptabilidad y ajuste con la tapa del reservorio; se la escogió por el bajo costo con respecto de las otras marcas de bombas de automotores existentes en el mercado.

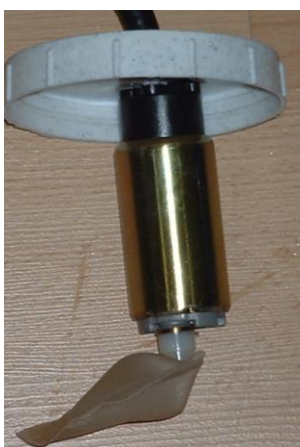


Fig. 6.20. Fotografías Bomba de Combustible

6.5.2.2. Selección del Depósito de combustible.

En el mercado existen muchas opciones de reservorios para el requerimiento del sistema, uno de los cuales se adaptó a ello, es un reservorio plástico fabricado por PIKA, éste fue escogido porque resiste a los combustibles comunes (gasolina diesel) y al líquido limpiador para inyectores, su capacidad es de 1 (litro), la tapa es de plástico común y es de muy fácil manipulación.



Fig. 6.21. Fotografía Depósito de Combustible

6.5.2.3. Selección de Mangueras.

Se trabaja con dos tipos de manguera, la primera de $\frac{1}{4}$ (pulgada) ,la mas recomendable para motores automotrices (full inyection), y la segunda ,manguera de $\frac{3}{16}$ (pulgadas) con 300 (psi) de capacidad en presión, su buena maniobrabilidad y flexibilidad se aconseja para este tipo de trabajo.



Fig. 6.22. Fotografía mangueras utilizadas

6.5.2.4. Selección del Regulador de Presión.

El sistema de inyección del banco de pruebas trabaja con presiones de 35 a 60 (psi) razón por la cual es necesario un regulador de presión, en el proyecto se adquirió un regulador de presión aire, se adaptó y manipulo de tal forma que cubra los requerimientos para el sistema, su rango de trabajo es de 0 a 100 (psi) y su operatividad no presenta complejidad.



Fig. 6.23. Fotografía regulador de presión

6.5.2.5. Selección del Manómetro

El sistema opera entre presiones de trabajo de 30 a 60 (psi) para la limpieza de los inyectores y en la prueba de estanqueidad es de 100 (psi).

Se selecciona un manómetro que contenga escala fácil de visualizar, y su que su apreciación sea de 0 a 150 (psi) o de 0 a 100 (bares), que su forma encaje correctamente con los requerimientos del sistema y resista al líquido limpiador de inyectores.



Fig. 6.24. Fotografía Manómetro

6.5.2.6. Selección de Acoples.

Para unir las mangueras y los diferentes elementos mencionados se utiliza reductores, un acoples rápido y una T, el material es aleación de cobre y son de alta presión ya que las presiones de trabajo son altas; resisten al líquido limpiador para inyectores y se pueden encontrar con facilidad en el mercado nacional. Las medidas van $\frac{1}{4}$ " a $\frac{3}{16}$ " y viceversa.

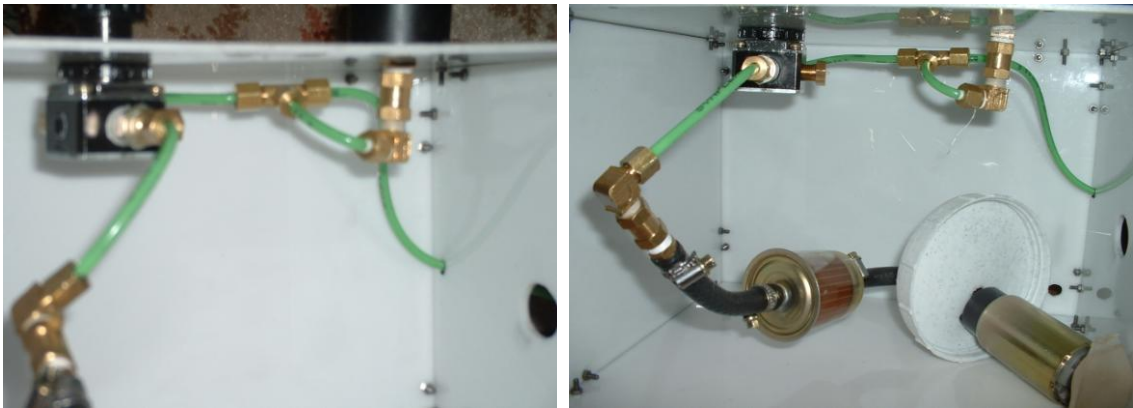


Fig. 6.25. Fotografía accesorios y acoples para manguera.

6.5.2.7. Selección de Probetas Graduadas.

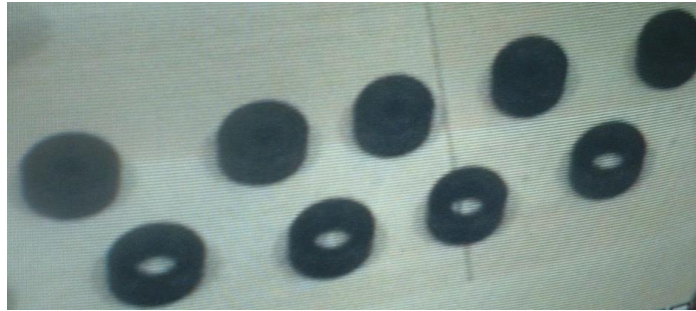
Para el sistema se selecciona probetas graduadas de 100 (mml), el espesor de cada una de ellas es de 1(mm), altura de 230(mm) con el diámetro de 30(mm), la forma es cilíndrica y el material, vidrio transparente para observar la cantidad de líquido entrante.



Fig. 6.26. Fotografía probetas graduadas.

6.5.2.8. Selección de Cauchos.

Se selecciona cauchos de dureza grado 70, para mayor flexibilidad, con medidas estipuladas de 38 mm diámetro externo, 30 mm diámetro interno y 12 mm de altura con espesor entre diámetros de 0.2(mm), las cuales garantizan el sello de las probetas en el banco.



a) Discos de Caucho para sello



b) Montaje de cauchos con probetas en barras de gritón

Fig. 6.27. Fotografía cauchos para sello

6.5.2.9. Selección de Válvulas.

En el mercado nacional existen variedad de materiales para sistemas hidráulicos y válvulas de paso de caudal, la válvula de bola es la mas

recomendable para el tipo de trabajo a desempeñarse, por la facilidad de manipulación y bajo costo. Son válvulas de bola de ¼" de accionamiento corto.

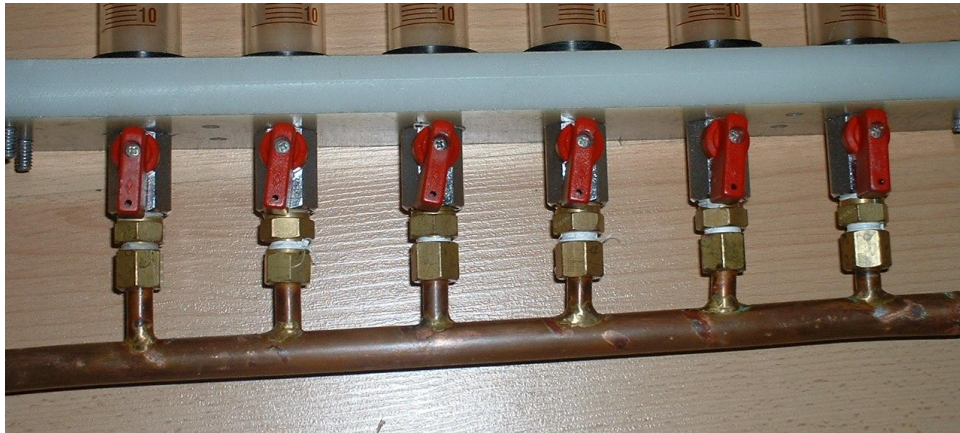


Fig. 6.28. Fotografía válvulas

6.6. SISTEMA DE CONTROL ALIMENTACIÓN .

El sistema de control y de alimentación está integrado con la tarjeta generadora de pulsos. La alimentación de energía se la da a través de una batería de auto de 12V que entregue como mínimo 25A.

El control de los circuitos se da a través de dos switch principales, S1 que controla el encendido de la bomba, y S2 que controla el paso de energía hacia la tarjeta del generador de pulsos. En el equipo se encuentra claramente indicado los pulsadores y los switches así como también las perillas de control de frecuencia y tiempo de trabajo.

El switch S1 está conectado a un relé que es el que se encarga del encendido de la bomba de combustible, este sistema se utiliza para proteger tanto la tarjeta generadora de pulsos como la bomba.

El switch S2, da la alimentación de corriente a la tarjeta del generador de pulsos. El generador a pesar de estar energizado, no arranca hasta que debes inicio al proceso mediante los pulsadores P1 y P2, los cuales trabajan de manera independiente. P1 se encarga de encender y apagar el generador de

pulsos durante un tiempo indefinido, mientras que P2 enciende y apaga el generador durante el tiempo que se determine con la perilla de tiempo T1. (min. 3 seg.– máx 20 seg.

La perilla de frecuencia T2, es la que se encarga de simular la disminución o aumento de los ciclos de inyección en un motor real. Esta perilla se encuentra calibrada de manera que la mínima frecuencia de trabajo es de 60 Hz, lo que representaría cerca de 1600 r.p.m., y la frecuencia máxima de trabajo es de 140 Hz, lo que está relacionado con 3000 r.p.m.



Fig. 6.29. Fotografía Sistema de Control

6.7. ESTRUCTURA.

La estructura diseñada solamente tiene que soportar el peso de las probetas, las barras de gritón, la barra de aluminio y las válvulas de bola, por lo que un cálculo estructural se hace innecesario.

La forma de la estructura es sencilla, versátil y nos permite un rápido montaje y desmontaje de todas las piezas.

Para su construcción se utiliza un tubo cuadrado de hierro de ½", y se lo construye de acuerdo a los planos diseñados.

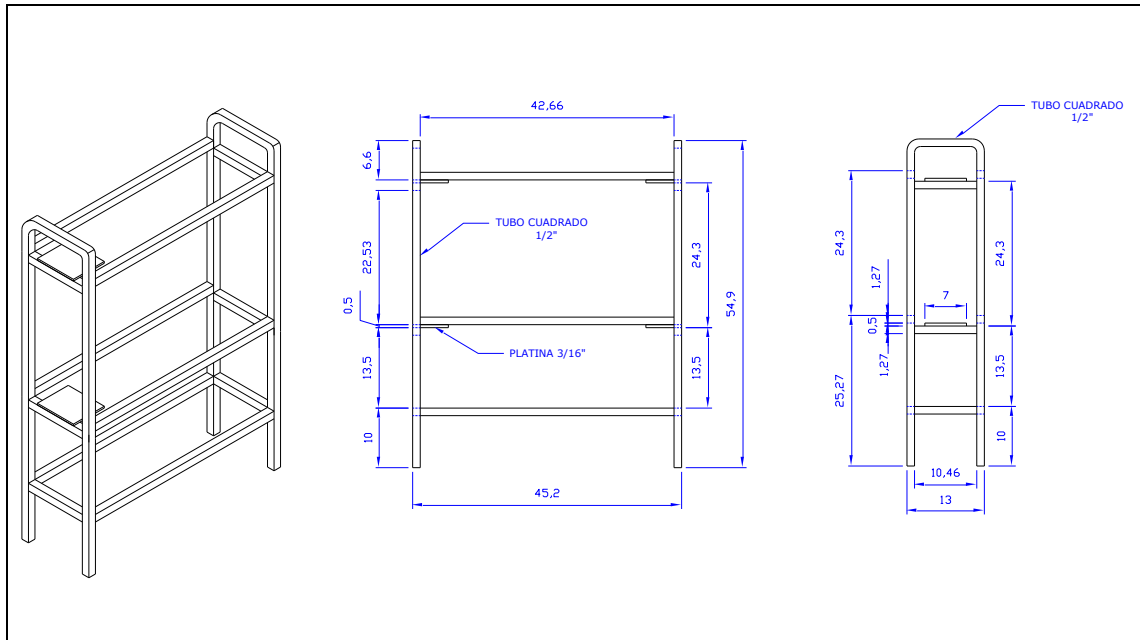


Fig. 6.30. Diseño estructura soporte



Fig. 6.31. Fotografía de la estructura soporte construida (cromada)

6.8. MONTAJE FINAL.

Una vez que se han construido y armado los sub - sistemas independientes, podemos unirlos para tener el montaje final del banco de pruebas y limpieza química para inyectores.



Fig. 6.32. Fotografías del montaje del banco de pruebas

Una vez construido todo el equipo, podemos pasar a realizar las pruebas funcionales del mismo para su posterior análisis de resultados.

CAPÍTULO 7

RESULTADO DE PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

7.1. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

A continuación se detalla paso a paso la correcta operación de los equipos, Y de esta manera obtener el mejor de los rendimientos en los resultados.

7.1.1. PROCEDIMIENTO PREVIO

- a) Se debe tomar precaución en que todos los interruptores se encuentren desactivados , que las válvulas de bola estén completamente cerradas y que las conexiones a la batería estén totalmente aseguradas
- b) Se coloca el líquido limpiador de inyectores (para el banco de pruebas) en el reservorio, hasta el nivel señalado.
- c) Asegurarse que las conexiones del generador de pulsos hace la batería sea correctas
- d) Verificar el valor de resistencia de los inyectores, si el valor se encuentra fuera de las especificaciones no realizar las pruebas con este inyector.
- e) Acoplar los inyectores a la barra de sujeción, fijando las pipetas verticalmente, y ajustando con 4 guías respectivamente.
- f) Verificar que el regulador de presión se encuentre cerrado.
- g) Unir las terminales del equipo (hembras) con las terminales de los inyectores (machos)
- h) Encender la bomba
- i) Manipular el regulador de presión hasta alcanzar la presión de trabajo de óptima para la evaluación de los inyectores. (35 – 40 psi).
- j) Encender el generador de pulsos
- k) Mediante el regulador del generador de pulsos adecuar la frecuencia de trabajo de los inyectores



Fig. 7.1. Montaje para procedimiento previo de encendido

- l) Al momento que las probetas hayan llegado a un nivel intermedio (50 a 60 ml), apagar el generador de pulsos y la bomba de combustible.
- m) Abrir las válvulas de bola para liberar el líquido en el reservorio y concluir el ciclo de prueba.

7.1.2. PRUEBA RESISTENCIA ÓHMICA DE LAS BOBINAS DE LOS INYECTORES

- a) Con la ayuda de un multímetro, determinar la resistencia de las bobinas de los inyectores.
- b) Si el valor de la medición está dentro de un rango entre 13,5 a 15 Ω (Ohms, dependiendo de la marca de inyector), los inyectores no presentan problemas en su bobinado.
- c) Una vez obtenidos estos datos registrarlos en una tabla.

7.1.3. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD

- a) Realizar el procedimiento previo hasta el paso h)
- b) Mediante el regulador de presión de la bomba elevar la presión hasta 85 psi y verificar visualmente que en la punta de los inyectores no exista

fuga o formaciones de gotas. El generador de pulsos deberá estar apagado.

- c) En caso de la existencia de fuga en la punta de los inyectores, proceder a la limpieza.
- d) Si al persistir los problemas de estanqueidad luego de la limpieza y cambio de elementos internos como filtros, el inyector debe ser reemplazado.

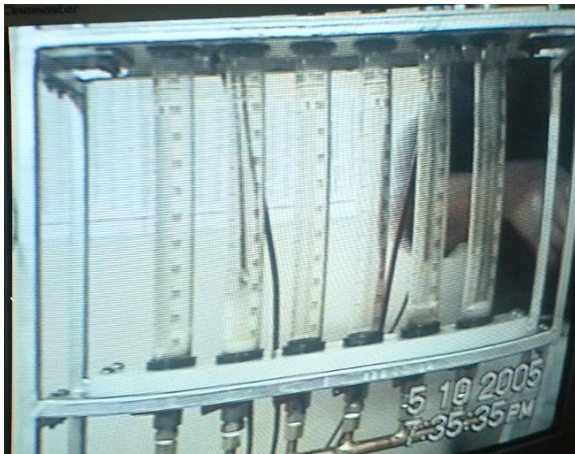


Fig. 7.2. Prueba de estanqueidad a 85 psi.

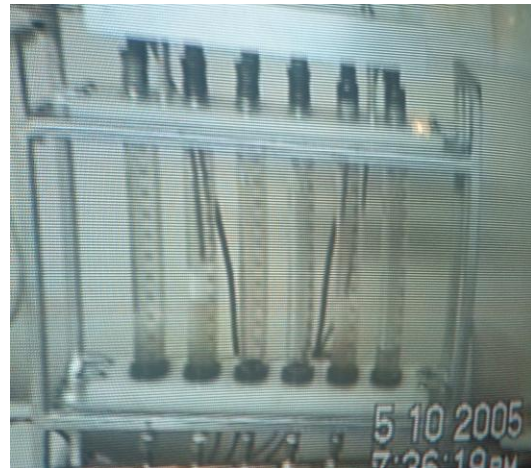
7.1.4. BALANCE DE INYECTORES

- a) Realizar el procedimiento previo.
- b) Colocar los inyectores en la barra de grilón,
- c) Encender el generador de pulsos, seleccionar la frecuencia de trabajo adecuada.
- d) Encender la bomba
- e) Cuando las probetas lleguen a 50ml (referencial), desconectar el generador de pulsos y la bomba
- f) Observar la diferencia existente entre cada una de la probetas, si la diferencia encontrada es mayor al 10% los inyectores deben ser limpiados.

- g) Se recomienda que para la evaluación del balance de los inyectores, se utilice un cronómetro y control P1 (pulsador de tiempo indefinido de trabajo), así será fácil determinar el volumen suministrado por cada inyector en el tiempo de trabajo dispuesto, con lo que se obtendrá el caudal de inyección que nos sirve para compararlo con valores estándar.



a) Inicio prueba



b) Fin de la Prueba

Fig. 7.3. Prueba de balance de inyectores

7.1.5. LIMPIEZA QUÍMICA DE INYECTORES (BANCO DE PRUEBAS)

- a) Realizar el procedimiento previo.
- b) Encender la bomba de combustible y con el regulador de presión nivelar a 60 psi.
- c) Encender el generador de pulsos, seleccionar la frecuencia máxima para el trabajo de inyectores
- d) Verificar que cada pipeta graduada llegue a una capacidad máxima de 60 (ml) cada una.
- e) Apagar el generador de pulsos, apagar la bomba.
- f) Liberar el líquido abriendo las válvulas de bola al momento que las pipetas hayan llegado a su capacidad señalada.
- g) El procedimiento deberá ser repetido por tres ocasiones.

7.1.6. LIMPIEZA DE INYECTORES (ULTRASONIDO)

- a) Colocar el líquido limpiador de inyectores en la bandeja.
- b) Ubicar los inyectores en el portaobjetos y a continuación en la bandeja
- c) Unir las terminales del generador de pulsos (hembras) con las terminales de los inyectores (machos)
- d) Encender el ultrasonido y encender el generador de pulsos a una frecuencia intermedia. (95 Hz)
- e) El proceso de lavado de los inyectores en deberá durar entre 10 y 20 minutos.
- f) Apagar el sistema ultrasónico, apagar el generador de pulsos, y volver a montar los inyectores en el banco de pruebas.
- g) Realizar nuevamente las pruebas de estanqueidad y de balanceo.
- h) Registrar los datos obtenidos en estas pruebas, para ser entregados al cliente y para utilizarlos como comparación en futuros procesos de evaluación de inyectores.



Fig. 7.4. Proceso de Lavado de Inyectores por Ultrasonido

7.2. FORMATO Y REGISTRO DE RESULTADOS

El formato de resultados es diseñado para que el técnico o el cliente que desea limpiar sus inyectores tenga un visión clara de cómo llegan sus inyectores y el resultado luego de una limpieza. (Ver Anexo H, “Formato de Registro de Resultados”).

Para las pruebas realizadas con el equipo construido se logró conseguir 8 inyectores de segunda mano de los cuales 6 no estaban trabajando.

Después de un proceso de mantenimiento rápido y básico, los inyectores fueron sometidos a las pruebas de evaluación de su funcionamiento, se logró que 4 de ellos empezaran a funcionar, posteriormente fueron sometidos todos al proceso de lavado por ultrasonido y se logró de 2 más empiecen a trabajar pero muy por debajo de su capacidad de inyección.

Estos resultados se justifican puesto que los inyectores usados para las pruebas, se nos facilitaron como elementos dañados y sin embargo logramos recuperarlos para que trabajen a un 40% de su capacidad, lo que nos da una idea de los resultados que se puede obtener cuando se realicen las pruebas a unos inyectores que necesiten mantenimiento correctivo. La limpieza ultrasónica en conjunto con la evaluación en el banco de pruebas nos garantiza resultados 100% efectivos ya que dejan a los inyectores como nuevos.

7.3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la limpieza de inyectores son satisfactorios puesto que consiguió que de los 8 inyectores dañados que nos facilitaron para las pruebas, 6 de ellos se hayan habilitado nuevamente, aunque no en sus condiciones ideales para el trabajo dentro de un motor.

Podría decirse que la mayoría de inyectores de las diferentes marcas de vehículos tienen características comunes entre si y que la limpieza de estos se realizara con la mismo eficacia que los demás.

En todas las pruebas realizadas se logro recuperar inyectores que se encontraban en desuso.

La primera prueba realizada, se la hizo con 4 inyectores que funcionaban y 2 que se encontraban trabados, de ésta se obtuvieron los datos que nos permiten hacer el análisis del funcionamiento del equipo (*ver tablas 7.1. y 7.2*)

Con los datos obtenidos de las tablas anteriores, podemos realizar el análisis de resultados.

7.3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- ✚ En la serie de pruebas a las que se sometieron los inyectores, no se presentaron problemas de goteo durante la prueba de estanqueidad, por lo que se puede garantizar que este tipo de problemas no es muy frecuente en el sistema de inyección de un vehículo.
- ✚ En las pruebas realizadas, los inyectores presentan una recuperación de aportación y forma de rocío que su estado inicial.
- ✚ Cuando un inyector tiene problemas en su bobinado (baja resistencia óhmica), la limpieza de éste ayuda a que entregue una mejor aportación de combustible, sin embargo debido al problema eléctrico, el inyector tendrá aportaciones inferiores a otros inyectores con resistencia de bobina dentro del rango de funcionamiento (13,5 a 15 Ohm).
- ✚ El método más eficiente para la limpieza de inyectores se refleja en los resultados, ya que la unión de una limpieza química en el banco con la limpieza ultrasónica, garantizan óptimos resultados en la atomización de combustible.

A continuación se presentan las gráficas obtenidas del comportamiento de los inyectores, balance previo a la limpieza vs. balance posterior a la limpieza ultrasónica.

PRUEBA No. 1

BANCO DE PRUEBAS Y EVALUACIÓN PARA INYECTORES DE MOTORES A GASOLINA					
FECHA:	15/04/2005	SEDE:	Ofic. Ing. Molina	HORA:	14:30

PRUEBA No.	1
------------	---

REGISTRO RESULTADOS ANTES DE LIMPIEZA

1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE LA BOBINA DEL INYECTOR							
Prueba realizado por: <u>F. Ortiz - R. Vinuesa</u>	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Valor Medido	OHM	12,6	14	8	9	13	12,8
% de desviación	%	10%	0%	43%	36%	7%	9%
Rango Aceptable	OHM	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15
PROMEDIO	OHM	14	14	14	14	14	14
PORCENTAJE APROBADO	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
RESULTADO PRUEBA		APRUEBA	APRUEBA	NO APRUEBA	NO APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA

2. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD PREVIA LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Presión de Trabajo	psi	80	80	80	80	80	80
Tiempo de prueba	min	5	5	5	5	5	5
Observación Goteo		NO	NO	NO	NO	NO	NO
Volumen líquido goteado	ml	0	0	0	0	0	0
VOLUMEN PERMITIDO	ml	0	0	0	0	0	0
RESULTADO PRUEBA		APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA

3. PRUEBA DE PATRÓN ROCÍO OBSERVABLE PREVIA LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Atomización Correcta				-----	-----	X	
Rocío disperejo		X		-----	-----		X
Atomización descentrada		X	X	-----	-----		X
Caudal Continuo			X	-----	-----	X	

4. PRUEBA DE BALANCE DE VOLUMEN PREVIO A LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Volumen en la probeta	ml	26	48	0	0	52	22
Tiempo de trabajo	min	1	1	1	1	1	1
% Desviación 50 ml	OHM	50%	8%	100%	100%	0%	58%
PORCENTAJE APROBADO	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
RESULTADO PRUEBA		NO APRUEBA	APRUEBA	NO APRUEBA	NO APRUEBA	APRUEBA	NO APRUEBA

Tabla 7.1. Resultados obtenidos de pruebas en el banco de inyectores previo a la limpieza ultrasónica prueba 1.

BANCO DE PRUEBAS Y EVALUACIÓN PARA INYECTORES DE MOTORES A GASOLINA					
FECHA:	15/04/2005	SEDE:	Ofic. Ing. Molina	HORA:	15:00

PRUEBA No.	1
------------	---

REGISTRO RESULTADOS DESPUÉS DE LIMPIEZA

1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE LA BOBINA DEL INYECTOR							
<i>Prueba realizado por:</i> _____	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Valor Medido	OHM	12,6	14	8	9	13	12,8
% de desviación	%	10%	0%	43%	36%	7%	9%
Rango Aceptable	OHM	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15
PROMEDIO	OHM	14	14	14	14	14	14
PORCENTAJE APROBADO	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
RESULTADO PRUEBA		APRUEBA	APRUEBA	NO APRUEBA	NO APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA

2. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD POSTERIOR A LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Presión de Trabajo	psi	80	80	80	80	80	80
Tiempo de prueba	min	5	5	5	5	5	5
Observación Goteo		NO	NO	NO	NO	NO	NO
Volumen líquido goteado	ml	0	0	0	0	0	0
VOLUMEN PERMITIDO	ml	0	0	0	0	0	0
RESULTADO PRUEBA		APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA

3. PRUEBA DE PATRÓN ROCÍO OBSERVABLE POSTERIOR A LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Atomización Correcta			X	----	----	X	
Rocío disparejo		X		----	----		X
Atomización descentrada			X	----	----		X
Caudal Continuo		X	X	----	----		

4. PRUEBA DE BALANCE DE VOLUMEN POSTERIOR A LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Volumen en la probeta	ml	35	53	0	0	55	28
Tiempo de trabajo	min	1	1	1	1	1	1
% Desviación 50 ml	OHM	36%	4%	100%	100%	0%	49%
Porcentaje de Recuperación		26%	9%	0%	0%	5%	21%
PORCENTAJE APROBADO	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
RESULTADO PRUEBA		NO APRUEBA	APRUEBA	NO APRUEBA	NO APRUEBA	APRUEBA	NO APRUEBA

Tabla 7.2. Resultados obtenidos de pruebas en el banco de inyectores posterior a la limpieza ultrasónica prueba 1.

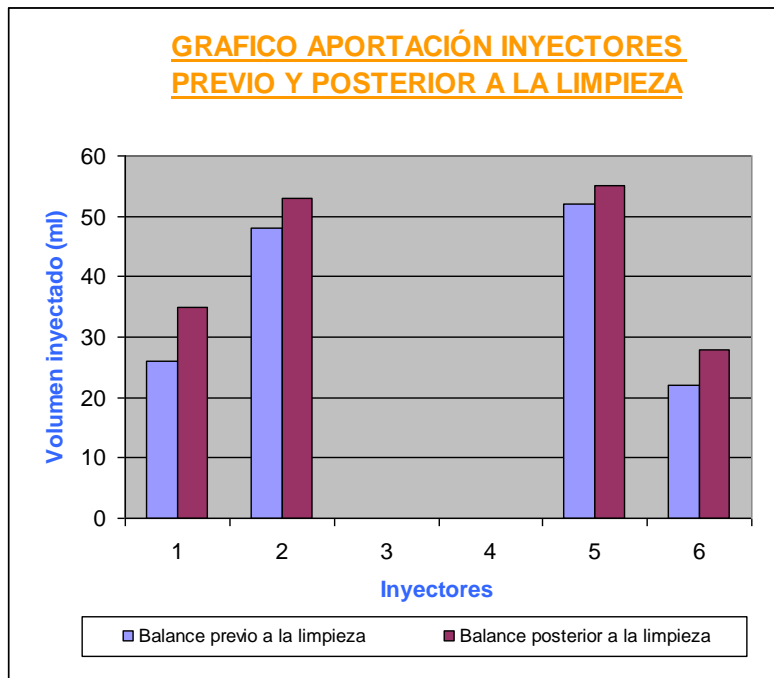


Fig. 7.5. Gráfica comparación aportación inyectores previo y posterior a la limpieza por ultrasonido Prueba 1

Análisis de Resultados Prueba 1.

De la gráfica anterior se visualiza como mejoró la aportación de los inyectores que se encontraban trabajando. Tal es el caso de la *Tabla 7.2.* en la que podemos ver existen porcentajes de recuperación en el trabajo de los inyectores que van desde un 5% hasta un 26%, lo que nos da una idea de cómo mejorará en su funcionamiento un inyector sometido a este proceso de mantenimiento correctivo.

Luego de la limpieza, se ve que los porcentajes de desviación entre la aportación de los inyectores se redujo notablemente en los inyectores:

	Unid.	Iny. 1	Iny. 2	Iny. 3	Iny. 4	Iny. 5	Iny. 6	
% Desviación	OHM	50%	8%	100%	100%	0%	58%	Previa limpieza
% Desviación	OHM	36%	4%	100%	100%	0%	49%	Posterior limpieza

Tabla 7.3. Reducción de los porcentajes de desviación de la aportación antes y después de la limpieza por ultrasonido Prueba 1.

En esta prueba se ve que si existe una recuperación en el trabajo de los inyectores luego de la limpieza, pero aun existen porcentajes de desviación en la aportación de combustible mayores al 10% por lo que los inyectores 1,3,4 y 6, deberían ser reemplazados si fuesen a ser utilizados en un motor de gasolina.

PRUEBA No. 2

Para esta prueba se utilizan inyectores desmontados de un vehículo Chevrolet Mini Blazer, año de fabricación 1996, de placa PRT – 815. Estos inyectores fueron sometidos a las pruebas en el banco debido a que el vehículo presentaba problemas de desarrollo del motor, por lo que luego de un análisis previo se determinó que el problema se debía al mal funcionamiento de los inyectores.

BANCO DE PRUEBAS Y EVALUACIÓN PARA INYECTORES DE MOTORES A GASOLINA					
FECHA:	14/05/2005	SEDE:	Taller SETAMER	HORA:	10:00
			Av. 6 de diciembre N53-191 y los Pinos		
PRUEBA No.		2			

REGISTRO RESULTADOS ANTES DE LIMPIEZA

1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE LA BOBINA DEL INYECTOR							
<i>Prueba realizado por:</i> _____	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Valor Medido	OHM	14,3	14,1	13,8	14,6	13,9	13
% de desviación	%	2%	1%	1%	4%	1%	7%
Rango Aceptable	OHM	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15
PROMEDIO	OHM	14	14	14	14	14	14
PORCENTAJE APROBADO	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
RESULTADO PRUEBA		APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA

2. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD PREVIA LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Presión de Trabajo	psi	80	80	80	80	80	80
Tiempo de prueba	min	5	5	5	5	5	5
Observación Goteo		NO	NO	NO	NO	NO	NO
Volumen líquido goteado	ml	0	0	0	0	0	0
VOLUMEN PERMITIDO	ml	0	0	0	0	0	0
RESULTADO PRUEBA		APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA

3. PRUEBA DE PATRÓN ROCÍO OBSERVABLE PREVIA LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Atomización Correcta		X	X	X			X
Rocío disparejo		X			X	X	X
Atomización descentrada					X		
Caudal Continuo			X	X		X	

4. PRUEBA DE BALANCE DE VOLUMEN PREVIO A LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Volumen en la probeta	ml	51	53	45	54	47	40
Tiempo de trabajo	min	1	1	1	1	1	1
% Desviación	OHM	6%	2%	19%	0%	15%	30%
PORCENTAJE APROBADO	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
RESULTADO PRUEBA		APRUEBA	APRUEBA	NO APRUEBA	APRUEBA	NO APRUEBA	NO APRUEBA

Tabla 7.4. Resultados obtenidos de pruebas en el banco de inyectores previo a la limpieza ultrasónica prueba 2.

BANCO DE PRUEBAS Y EVALUACIÓN PARA INYECTORES DE MOTORES A GASOLINA					
FECHA:	14/05/2005	SEDE:	Taller SETAMER	HORA:	11:00
			Av. 6 de diciembre N53-191 y los Pinos		
PRUEBA No.		2			

REGISTRO RESULTADOS DESPUÉS DE LIMPIEZA

1. PRUEBA DE RESISTENCIA DE LA BOBINA DEL INYECTOR							
<i>Prueba realizado por:</i> _____	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Valor Medido	OHM	14,3	14,1	13,8	14,6	13,9	13
% de desviación	%	2%	1%	1%	4%	1%	7%
Rango Aceptable	OHM	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15	13,5 - 15
PROMEDIO	OHM	14	14	14	14	14	14
PORCENTAJE APROBADO	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
RESULTADO PRUEBA		APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA

2. PRUEBA DE ESTANQUEIDAD POSTERIOR A LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Presión de Trabajo	psi	80	80	80	80	80	80
Tiempo de prueba	min	5	5	5	5	5	5
Observación Goteo		NO	NO	NO	NO	NO	NO
Volumen líquido goteado	ml	0	0	0	0	0	0
VOLUMEN PERMITIDO	ml	0	0	0	0	0	0
RESULTADO PRUEBA		APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA

3. PRUEBA DE PATRÓN ROCÍO OBSERVABLE POSTERIOR A LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Atomización Correcta		X	X	X	X	X	X
Rocío disparejo							
Atomización descentrada							
Caudal Continuo		X	X	X	X	X	X

4. PRUEBA DE BALANCE DE VOLUMEN POSTERIOR A LA LIMPIEZA							
	UNIDAD	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4	INYECTOR 5	INYECTOR 6
Volumen en la probeta	ml	55	55	54	57	54	52
Tiempo de trabajo	min	1	1	1	1	1	1
% Desviación	OHM	4%	4%	6%	0%	6%	9%
Porcentaje de Recuperación		53%	13%	0%	0%	4%	58%
PORCENTAJE APROBADO	%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
RESULTADO PRUEBA		APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA	APRUEBA

Tabla 7.5. Resultados obtenidos de pruebas en el banco de inyectores posterior a la limpieza ultrasónica prueba 2.

Análisis de Resultados Prueba 2.

En la gráfica de la Fig. 7.2. se visualiza el grado de mejoría que se alcanza en la aportación de los inyectores luego de la limpieza ultrasónica de los mismos. Además de que se corrigen los porcentajes de desviación del aporte de

combustible, dejando a los seis inyectores con una aportación homogénea entre ellos, lo que garantiza un correcto desarrollo en el motor a gasolina.

En el proceso de limpieza, se encuentran porcentajes de recuperación de hasta el 58%, lo que da una idea clara de los excelentes resultados que se obtienen en el trabajo de los inyectores al ser lavados mediante este proceso.

	Unid.	Iny. 1	Iny. 2	Iny. 3	Iny. 4	Iny. 5	Iny. 6	
% Desviación	OHM	6%	2%	19%	0%	15%	30%	Previa limpieza
% Desviación	OHM	4%	4%	6%	0%	6%	9%	Posterior limpieza

Tabla 7.6. Reducción de los porcentajes de desviación de la aportación antes y después de la limpieza por ultrasonido Prueba 2.

Al analizar estos resultados, se ve que los inyectores sometidos en este proceso de lavado, y luego de las pruebas de funcionamiento, están en la capacidad de aportar el combustible necesario en el motor del vehículo, por lo que se concluye que el equipo desarrollado funciona de manera efectiva y garantiza los resultados obtenidos.

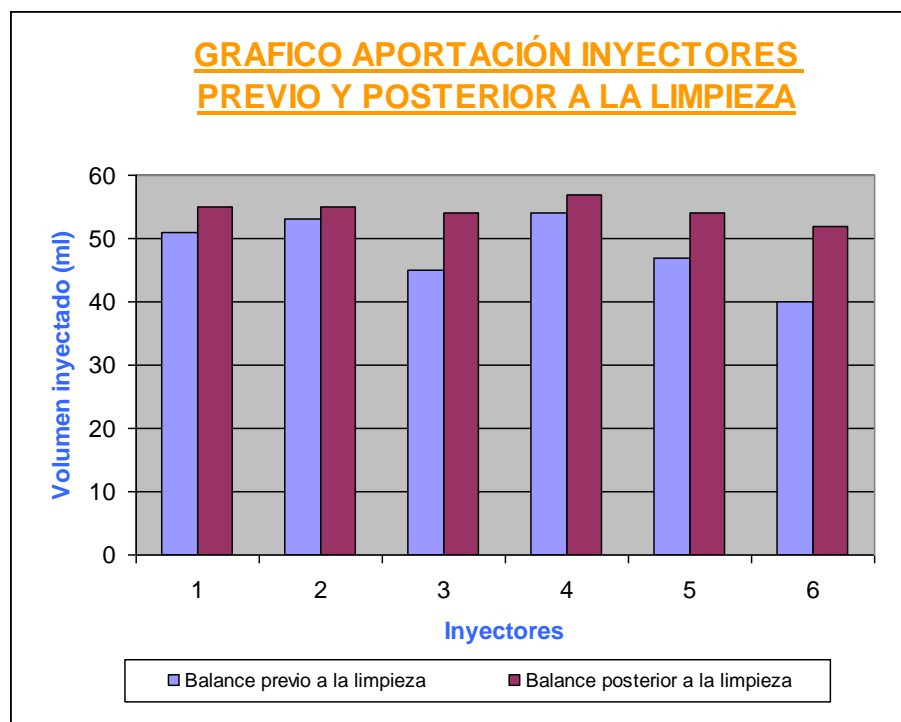


Fig. 7.6. Gráfica comparación aportación inyectores previo y posterior a la limpieza por ultrasonido Prueba 2

Como acotación se puede decir que los primeros grupos de inyectores estaban en desuso y se los habilito de la mejor manera, por la limpieza en el banco y luego en el sistema ultrasónico, que presento mayor eficacia y rendimiento; el segundo grupo de inyectores se encontraban en mejor estado con respecto a condiciones funcionales, cuando se realizo la limpieza en el banco de pruebas los inyectores presentaron una excelente recuperación.

7.4. RESUMEN DE ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- ✚ Todos los inyectores que se probaron, no presentaban problemas de estanqueidad, pero esto no asegura que los inyectores se encuentren en buen estado, sin defecto.
- ✚ Cuando se utiliza la limpieza química (banco de pruebas) y el sistema Ultrasónico, la combinación recupera a los inyectores en un nivel optimo.
- ✚ Cuando en los inyectores se encuentra baja la resistencia (ohmios), se le aplica la limpieza, y si sus valores del inyector continúan siendo inferiores a los necesarios, estos deben ser reemplazados.
- ✚ Los inyectores que fueron sometidos a las dos tipos de limpieza se recuperaron con mayor eficiencia al rendimiento inicial de la prueba.
- ✚ Las pruebas de limpieza químicas en el banco, no garantizan un resultado tan efectivo en la limpieza de los inyectores como si fuesen sometidos al lavado por sistema Ultrasónico.
- ✚ Los inyectores que fueron sometidos a las pruebas de limpieza respectivas, se encuentran operando con eficiencia aceptable, se cumplió el objetivo para la cual fue diseñado el sistema.

CAPÍTULO 8

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA

8.1. EVALUACIÓN ECONÓMICA

8.1.1. COSTOS DEL PROYECTO

8.1.1.1. Ingeniería y gastos administrativos

8.1.1.1.1. Personal

Como el proyecto realizado será cedido a la Escuela Politécnica del Ejército, los valores correspondientes a Ingeniería son nulos, puesto que nuestro director y co-director del proyecto pertenecen a esta institución.

Tabla 8.1. Descripción de gastos de personal

Cant.	Posición	Horas-H horas/semana	Semanas	Valor H-H USD	Valor total USD
1	Supervisor y coordinador del proyecto	0			0
1	Codirector del proyecto	0			0
TOTAL 8.1.1.1.1					\$0

8.1.1.1.2. Misceláneos

Tabla 8.2. Descripción de gastos de misceláneos

RUBRO	USD/ semana	Semanas	Valor
Materiales			50
Útiles de Oficina			40
Transporte			75
Vehículo			0
Alquileres de oficina y talleres			25
Servicios Básicos			60
Otros gastos	-----	-----	
TOTAL 8.1.1.1.2			\$250

Tabla 8.3. Descripción de gastos de ingeniería y administración

SUBTOTAL 8.1.1.1.	\$250
--------------------------	--------------

8.1.1.2. Costos Directos

8.1.1.2.1. Honorarios profesionales

Tabla 8.4. Descripción de gastos de honorarios a profesionales

Cant.	Posición	Horas-H horas/semana	Semanas	Valor H-H USD	Valor total USD
1	Consultor profesional	3	20	10	600
1	Facilitador en diseño equipos	1	20	6,75	135
TOTAL 8.1.1.2.1					\$735

8.1.1.2.2. Renumeración a no profesionales

Tabla 8.5. Descripción de gastos de renumeración a no profesionales

Cant.	Posición	Horas-H horas/semana	Semanas	Valor H-H USD	Valor total USD
1	Técnico Electrónico	5	4	5	100
1	Técnico en Fresadora (placas grilón)	4	1	20	80
1	Soldador (estructura soporte probetas)	1	1	20	20
1	Técnico en rotulación (armazones acrílico)	5	2	9,5	95
1	Técnico metalmecánico – torno	4	1	10,5	42
TOTAL 8.1.1.2.2					\$337

8.1.1.2.3. Renumeración a Estudiantes

En este apartado, al ser un proyecto financiado por los ejecutantes del proyecto, este rubro no se debe incluir en los costos del proyecto.

Tabla 8.6. Descripción de gastos de renumeración a estudiantes ejecutores del proyecto

Cant.	Posición	Horas-H horas/semana	Semanas	Valor H-H USD	Valor total USD
0	Estudiante que realiza estudios				0
TOTAL 8.1.1.2.3.					\$0

8.1.1.2.4. Adquisición de materiales y equipos

Tabla 8.7. Descripción de gastos de adquisición de materiales y equipos

Cant.	Descripción	Costo Unitario USD	Costo Total USD
LAVADORA ULTRASONICA			
6	Transductores	50	300
----	Componentes electrónicos, LCD, sensores, microcontrolador	----	125
----	Envío desde USA	75	75
3	Bobinas para ultrasonido	30	90
1	Niquelinas 110V - 70W	60	60
1	Transformador, componentes electrónicos, resistencias	55	55
1	Transformador para oscilador de bloqueo	20	20
1	Ferrita Transformador	5	5
1	Bandeja Inoxidable Inicial y perforación y soldadura de tubo inox.	32	32
1	Bandeja Inoxidable Final	10	10
2	Tarjetas PCB para control, LCD y ultrasonido	40	80
1	Mueble Acrilico para Ultrasonido	42	42
5	Abrazaderas	1	5
1	Prensa Manual	7	7
BANCO DE PRUEBAS DE INYECTORES			
7	Probetas de 100 ml	4,7	33
14	Corte probetas a 230 mm	1,5	21
1	Mangueras, accesorios, válvulas de bola.	70	70
12	Cauchos para sello de las probetas	3,1	37,2
1	Manometro DE 0 -150 psi	6,7	7
1	Regulador presion (adaptación para combustible)	10	10
1	Bomba Gasolina	60	60
2	Barras de Grilon	20	40
1	Barra de Aluminio	40	40

1 gal	Líquido de Limpieza de Inyectores	35 usd/gal	35
1	Accesorios Bushin	6,5	6,5
1	Componentes Electronicos para Banco, transistores, resistenc.	30	30
1	Depósito para Líquido de banco de Pruebas	5	5
1	Mueble de Acrilico para Banco	52	52
1	Tarjeta PCB para el generador de pulsos	30	30
PERFILERIA			
1	Tubo cuadrado de aluminio de 1/2"	6	6
1	Tubo Cuadrado de Hierro de 1/2"	4	4
2	Angulo de Aluminio de 1/2"	9 usd/tub	18
2	Varillas Aluminio diam. 1/4"	4,25	8,5
VARIOS			
1	Pernos varios diam. y long.	10	10
1	Stickers adhesivos para equipos	25	25
1	Pegamento especial PC-11 de pcepoxy	6	6
1	Silicona Roja para alta temperatura	2,5	2,5
1	Conectores de 3 pines	6,5	6,5
	Otros gastos	20	20
TOTAL 8.1.1.2.4			\$1489,1

8.1.1.2.5. Otros

Tabla 8.8. Descripción de otros gastos

Cant.	Descripción	Costo Total USD
1	Pintura y Acabados Finales	6
1	Accesorios de Encendido	20
1	Fusibles	4
1	Repuestos	1
		2
TOTAL 8.1.1.2.5		\$31

Tabla 8.9. Descripción de costos directos.

TOTAL 8.1.1.2.1	735
TOTAL 8.1.1.2.2	337
TOTAL 8.1.1.2.3	0
TOTAL 8.1.1.2.4	1489,1
TOTAL 8.1.1.2.5	31

SUBTOTAL 8.1.1.2.	\$2592,1
--------------------------	-----------------

COSTO TOTAL DEL PROYECTO.

Tabla 8.10. Descripción del costo total del proyecto

SUBTOTAL 8.1.1.1.	250
SUBTOTAL 8.1.1.2.	2592,1
COSTO SUB-TOTAL	2842,1 USD
IMPREVISTOS 3,5%	99,5
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	\$2941,6 USD

8.2. EVALUACIÓN FINANCIERA

Para realizar el análisis financiero del proyecto lo primero es establecer el financiamiento del mismo, el cual saldrá de nuestros propios recursos. A continuación la tabla de financiamiento:

Tabla 8.11. Descripción del financiamiento del proyecto

RUBROS	PRESUP.	RECURSOS PROPIOS	%	RECURSOS EXTERNOS	%
		USD		USD	
1. INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN	250,0	250,0	100,0	-----	-----
2. COSTOS DIRECTOS	2592,1	2592,1	100,0	-----	-----
3. IMPREVISTOS	99,5	103,7	100,0	-----	-----
4. ESCALAMIENTO DE COSTOS	0,0	0,0	100,0	-----	-----
5. COSTOS FINANCIEROS	0,0	0,0	100,0	-----	-----
TOTAL GENERAL	2941,6	2941,6	100,0	-----	-----

A continuación, se presenta el Flujo de Fondos durante el período de duración del proyecto.

Tabla 8.12. Flujo de Fondos del proyecto durante su duración

RUBROS	PRESUP.	I MES	II MES	III MES	IV MES	V MES	VI MES
1. INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN	250,00	12,50	25,00	25,00	25,00	50,00	112,50
2. COSTOS DIRECTOS	2592,10	732,72	365,22	182,61	554,03	365,22	392,30
3. IMPREVISTOS	99,47	16,58	16,58	16,58	16,58	16,58	16,58
4. ESCALAMIENTO DE COSTOS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5. COSTOS FINANCIEROS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	2941,57	761,80	406,80	224,19	595,61	431,80	521,38
TOTAL ACUMULADO	2941,57	761,80	1168,60	1392,79	1988,40	2420,19	2941,57
PORCENTAJE DE FLUJO%	99,00	25,90	13,83	7,62	20,25	14,68	17,72
PORCENTAJE FLUJO ACUMULADO %	100,00	25,90	39,73	47,35	67,60	82,28	100,00

Para efectuar el análisis del VAN y del TIR de este proyecto, es necesario desglosar los gastos durante el período de duración del proyecto. Como el proyecto no posee ingresos de dinero, vamos a realizar el análisis asumiendo cierto margen de ventas del equipo desarrollado luego del período de duración del proyecto. Para este efecto vamos a suponer que estamos en capacidad de producir y vender dos (2) equipos similares al desarrollado en un mes durante un período de 6 meses luego de fabricado el equipo, para lo cual se va a fijar el precio de venta al público muy cercano al valor con el cual se comercializan estos equipos en el mercado nacional.

El precio de venta de un equipo de evaluación y limpieza por ultrasonido de inyectores es de 2.200 USD (similares características al equipo desarrollado).

Ahora debemos determinar el costo de producción neto del equipo, costo en el que ya no se incluyen los gastos administrativos y los gastos de consultoría.

Tabla 8.13. Determinación del costo de fabricación de un equipo similar al construido

COSTO DE PRODUCCIÓN DEL EQUIPO

Cant.	Descripción	Costo Unit. USD	Costo Total USD
	LAVADORA ULTRASÓNICA		
1	Transductores	50	50
1	Componentes electrónicos, LCD, sensores, microcontrolador	80	80
1	Transformador para oscilador de bloqueo	20	20
1	Ferrita Transformador	5	5
1	Bandeja Inoxidable Final	10	10

2	Tarjetas PCB para control, LCD y ultrasonido	40	80
BANCO DE PRUEBAS DE INYECTORES			
7	Probetas de 100 ml	4,7	33
14	Corte probetas a 230 mm	1,5	21
1	Mangueras, accesorios, válvulas de bola.	70	70
12	Cauchos para sello de las probetas	3,1	37,2
1	Manometro DE 0 -150 psi	6,7	7
1	Regulador presion (adaptación para combustible)	10	10
1	Bomba Gasolina	60	60
2	Barras de Grilon	20	40
1	Barra de Aluminio	40	40
1 gal	Líquido de Limpieza de Inyectores	35 usd/gal	35
1	Accesorios Bushin	6,5	6,5
1	Componentes Electronicos para Banco, transistores, resistenc.	30	30
1	Depósito para Líquido de banco de Pruebas	5	5
1	Generador de pulsos	150	150
ESTRUCTURA			
1	Armazón metálico para soporte ultrasonido y banco	150	150
VARIOS			
1	Pernos varios	10	10
1	Stickers adhesivos para equipos	25	25
1	Pegamento	6	6
1	Silicona Roja	2,5	2,5
1	Conectores de 3 pines	6,5	6,5
MANO DE OBRA			
1	Mano de Obra directa en fabricación banco	200	200
-			
Otros gastos		20	20
COSTO TOTAL EQUIPO			1209,6

Con estos datos se puede calcular el margen de utilidad tentativo que se tendría con la venta de cada equipo.

Tabla 8.14. Margen de utilidad unitario estimado

PRECIO VENTA PUBLICO	2200
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN	1210
UTILIDAD POR VENTA DE EQUIPO	990
MARGEN DE UTILIDAD	82%

Una vez establecidos los parámetros de costo de producción, cantidad vendida al mes y el precio de venta al público, podemos realizar un análisis del VAN y

del TIR dentro del mercado. Se presenta el estado de ingresos y egresos estimados para el proyecto.

Tabla 8.15. Estado de Resultados proyectado

PERIODO MENSUAL	Cant. Equipo	Costo de Prod.	Precio de Venta	Utilidad Tentativa	INGRESOS TOTALES	EGRESOS TOTALES
0	0					0
1	0	761,80	0	-761,80	0	761,80
2	0	406,80	0	-406,80	0	406,80
3	0	224,19	0	-224,19	0	224,19
4	0	595,61	0	-595,61	0	595,61
5	0	431,80	0	-431,80	0	431,80
6 meses	1	521,38	0	-521,38	0	521,38
7 (1er mes)	2	1210	2200	990	4400	2420
8	2	1210	2200	990	4400	2420
9	2	1210	2200	990	4400	2420
10	2	1210	2200	990	4400	2420
11	2	1210	2200	990	4400	2420
12	2	1210	2200	990	4400	2420
TOTAL	13	10201,6	13200	2998,4	26400	17461,6

2941,57

Costo Total Proyecto

De la tabla anterior obtenemos los datos necesarios para realizar el análisis del VAN y del TIR.

Tabla 8.16. Análisis del Valor Actual Neto (VAN)

ANÁLISIS DEL VAN				
PERIODO MENSUAL	INGRESOS TOTALES	EGRESOS TOTALES	TOTAL	VAN 30 %
0		2941,57	-2941,57	-2941,6
1	4400	2420	1980,0	1523,1
2	4400	2420	1980,0	1171,6
3	4400	2420	1980,0	901,2
4	4400	2420	1980,0	693,3
5	4400	2420	1980,0	533,3
6	4400	2420	1980,0	410,2
TOTAL	26400,0	17461,6	8938,4	2291,1

VAN	2291,1 USD
------------	-------------------

Lo que significa que el proyecto se paga a si mismo, nos proporciona una TMAR (*tasa mínima aceptable de rendimiento requerida*) del 30% y además nos genera una utilidad de 2291 USD al valor actual.

Es decir que la inversión es provechosa y por ende convendría seguir fabricando equipos y venderlos.

Con estos valores y para asegurarnos la viabilidad del proyecto, se presenta la evaluación financiera del proyecto, mediante otros métodos como son la *relación beneficio/costo* y *la tasa interna de retorno (TIR)*.

Tabla 8.17. Análisis de la relación beneficio/costo (B/C)

INVERSION INICIAL	2941,57
BENEFICIO/COSTO B/C	1,78

Tabla 8.18. Análisis de la tasa interna de retorno (TIR)

ANÁLISIS DEL TIR					
PERIODO MENSUAL	INGRESOS TOTALES	EGRESOS TOTALES	TOTAL	VAN 63 %	VAN 64 %
0	0	2941,6	-2941,6	-2941,6	-2941,6
1	4400	2420,0	1980,0	1214,7	1207,3
2	4400	2420,0	1980,0	745,2	736,2
3	4400	2420,0	1980,0	457,2	448,9
4	4400	2420,0	1980,0	280,5	273,7
5	4400	2420,0	1980,0	172,1	166,9
6	4400	2420,0	1980,0	105,6	101,8
TOTAL	26400	17461,6	8938,4	33,7	-6,8

TIR	63,83%
------------	---------------

Con la determinación de la TIR podemos ver que es mayor a la TMAR establecida para nuestro proyecto (30%), lo que nos garantiza que el proyecto rinde más que una inversión alternativa.

De todo este análisis el principal resultado es la viabilidad del proyecto, ya que se puede constituir en una fuente de ingresos relativamente rápida. Por ejemplo, como se dijo en los párrafos anteriores, si se fabricará y vendiera dos equipos al mes durante los siguientes 6 meses posteriores al proyecto, se necesitaría una inversión de 17461 USD, pero los ingresos serían de 26400 USD, lo que nos dejaría una utilidad de 8938,4 USD durante el semestre, pero a más de esto si consideramos una Tasa de retorno del 30% (TMAR) obtendríamos una utilidad de 2291 USD, por lo que la ejecución del proyecto es una alternativa viable y recomendada.

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. CONCLUSIONES

- ✚ Se construyó un sistema semi - automático de lavado por ultrasonido similar a los existentes en el mercado actual, y se lo monto en un sistema para evaluación y limpieza de inyectores de motores a gasolina. La fabricación del equipo es netamente nacional y para el efecto se siguió con la filosofía de lo obvio, “Imitar, igualar y superar”.
- ✚ El equipo ultrasónico construido está en la capacidad de ser utilizado para realizar la limpieza de muestras metalográficas para su posterior análisis con microscopia electrónica.
- ✚ Se explica de manera teórico – práctica el funcionamiento del Ultrasonido en la aplicación de limpieza.
- ✚ La cavitación producida en el líquido de limpieza se mejora notablemente con el aumento de la temperatura del mismo, por lo que se recomienda setear el equipo para que controle una temperatura de lavado cercana a los 35 ° C.
- ✚ La única manera de medir de manera clara y directa la aportación de combustible de cada inyector, es desmontándolos del vehículo para analizar su comportamiento en un banco de pruebas en el que se pueda realizar el balance de los mismos.
- ✚ Pruebas tales como estanqueidad de los inyectores y la visualización del patrón de rocío de los mismos, sólo se puede realizar en un banco de pruebas.

- ✚ El mantenimiento que se realiza a los inyectores en la mayoría de los casos es de tipo preventivo, ya que se lo realiza mediante aditivos en el tanque de combustible o por un recipiente externo. La limpieza ultrasónica de inyectores es la única manera de poder brindar un mantenimiento correctivo de los mismos, y que mediante la evaluación posterior al lavado en un banco de pruebas, garantice un resultado efectivo y confiable y en un corto tiempo de trabajo.
- ✚ En el proceso de lavado por ultrasonido las impurezas dentro de los inyectores se eliminan y/o se aflojan, con lo que la posterior limpieza química efectuada en el banco de pruebas se obtienen resultados 100% confiables.
- ✚ El banco de pruebas construido está en la capacidad de simular el sistema de inyección electrónica del vehículo, variando los tiempos de trabajo y la frecuencia de apertura y cierre de las electro válvulas de los inyectores.
- ✚ La calidad de la gasolina que se utiliza en un automóvil es la que determina la cantidad de impurezas que se forman en los inyectores, por lo que para sistemas de inyección multipunto MPFI es recomendable utilizar gasolina SUPER.
- ✚ El equipo construido, satisface las necesidades planteadas al inicio del proyecto, por lo que sus posteriores modificaciones serían en forma pero no en fondo, lo que da una idea de la cierta facilidad con la que se puede seguir produciendo este tipo de equipos.
- ✚ Luego de las pruebas realizadas en el equipo, se lograron que dos inyectores relativamente taponados, empiecen a inyectar combustible nuevamente, lo cual nos da una clara idea de los excelentes resultados que puede obtener en los procesos de limpieza para inyectores de cualquier automóvil.

- ✚ Las principales ventajas del equipo desarrollado son la facilidad de manejo, su adaptabilidad al sitio de trabajo y sobre todo la capacidad ser un sistema de limpieza y evaluación del correcto funcionamiento de los inyectores que son sometidos al proceso de limpieza.

9.2. RECOMENDACIONES

- ✚ La utilización del equipo debe ser guiada por personal capacitado en el manejo y mantenimiento del mismo, o por personas semi-calificadas con conocimientos básicos de inyección electrónica de combustible.
- ✚ El líquido de limpieza es volátil por lo que se deberá mantenerlo alejado del fuego.
- ✚ No manipular las tarjetas electrónicas fabricadas, a menos que sea por personal calificado.
- ✚ Realizar un cambio en el líquido de limpieza, luego de 30 usos o cuando la suciedad en él sea bastante notoria.
- ✚ Tener cuidado de que el líquido de limpieza (o cualquier otro líquido) esté en contacto con las partes eléctricas del sistema, ya que pueden producirse cortocircuitos.
- ✚ Cambiar los filtros anterior y posterior a la bomba de combustible después de seis meses de uso del equipo.
- ✚ Se recomienda dar buen uso al equipo desarrollado ya que deben aprovecharse las ventajas que se pueden obtener de él, del mismo modo se recomienda el cuidado del mismo, ya que las partes electrónicas son delicadas y debido al mal uso pueden dañar y/o deteriorar el correcto funcionamiento del sistema.

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA:

- ✚ MARTI PARERA, ALBERT; “Inyección Electrónica en Motores de Gasolina”; Ed. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR; España; Año Ed. 1996; pp 15 – 63.
- ✚ DE CASTRO, M.; “Inyección de Gasolina”; Ed. CEAC, Barcelona-España, Año. Ed. 1995; secc. “11.27-5. Sistemas Multipunto”, pp 152 – 240.
- ✚ ARIAS PAZ, M.; “Manual de Automóviles”; Ed. Dossat S.A.; México; Año ed. 1994 (revisada); pp. 160 – 230.
- ✚ GREENSLADE, T.B. Jr.; “Experiment with Ultrasonic Transducers”; USA; Año ed. 1994. pp 298 – 392.
- ✚ “PIEZO THEORY”, Amerizan Piezo, *.pdf (archive).

DIRECCIONES INTERNET:


TEMA: ULTRASONIDO


✚ <http://www.anser.com.ar/ultrasonido.htm>


Idioma: Español
Actualiz.: Abril, 2005


✚ <http://www.fisa.com/es/Technology.htm>

Idioma: Inglés
Actualiz.: Diciembre, 2004


 <http://www.testlab-online.com/>
Idioma: Español
Actualiz.: Enero, 2005


 <http://apuntes.rincondelvago.com/ultrasonidos.html>
Idioma: Español
Actualiz.: Enero, 2005


 <http://www.americanpiezo.com>
Idioma: Inglés
Actualiz.: Febrero, 2005


 <http://www.morganpci.com>
Idioma: Inglés
Actualiz.: Diciembre, 2004

MOTORES E INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE GASOLINA:

 http://www.k-wz.de/vmotor/v_omotors.html
Idioma: Español
Actualiz.: Octubre, 2004

 http://www.uamerica.edu.co/motores/images/eje_levas.gif
Idioma: Español
Actualiz.: Diciembre, 2004

 http://campus.fortunecity.com/duquesne/623/home/ciguenial/ciguenial_solo_texto.htm
Idioma: Español
Actualiz.: Enero, 2005

 http://www.terra.cl/guia_practica/mundo_automovil/auto_mantenion/Parte_bas.cfm
Idioma: Español
Actualiz.: Noviembre, 2004

- ✚ <http://www.automecanico.com/auto2002/Arrancador.html>
Idioma: Español
Actualiz.: Julio, 2004

- ✚ <http://www.inyectoromotriz.com>
Idioma: Español
Actualiz.: Agosto, 2004

- ✚ http://www.iespana.com/mecánica_virtual/inyección.html
Idioma: Español
Actualiz.: Diciembre, 2004

PÁGINAS ELECTRÓNICA BÁSICA:

- ✚ www.unicrom.com
Idioma: Español
Actualiz.: Enero, 2005

- ✚ www.pablin.com.ar
Idioma: Español
Actualiz.: Marzo, 2005

- ✚ www.todopic.com.ar
Idioma: Español
Actualiz.: Abril, 2005

- ✚ www.electronicafacil.net
Idioma: Español
Actualiz.: Octubre, 2004

- ✚ www.todoelectronica.com
Idioma: Español
Actualiz.: Diciembre, 2004

OTROS:

✚ http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761560639/Sonido.html

Idioma: Español

Actualiz.: Febrero, 2005

✚ http://html.rincondelvago.com/ondas-sonoras_sonido.html

Idioma: Español

Actualiz.: Enero, 2005

✚ <http://html.rincondelvago.com/las-ondas-y-el-sonido.html>

Idioma: Español

Actualiz.: Enero, 2005