

TABLA DE CONTENIDO.

Prólogo	1
1. Nomenclatura.	2
2. Resumen.....	6
2.1 Descripción del Sistema.....	6
2.2 Funcionamiento del Sistema de Inyección.	7
2.2.1 Generación de Pulsos de Inyección.	7
2.2.2 Sincronización de la Inyección.....	7
2.2.3 Determinación de la Posición de la Mariposa de Gases.....	7
2.3 Jerarquía de los Estados del Motor durante su Gestión.....	8
3. Líneas Actuales de Investigación y Desarrollo de la Gestión Electrónica de Inyección de Gasolina en el Colector.....	9
3.1 Introducción.....	9
3.2 Clasificación de los Sistemas Actuales de Inyección Electrónica de Gasolina en el Colector.....	9
3.2.1 Inyección Electrónica Multipunto en el Colector.....	11
3.3 Estado Actual de la Técnica.	13
3.3.1 <i>Sistemas Convencionales de Inyección Cartográfica con Sonda Lambda.....</i>	<i>15</i>
3.3.1.1 Unidad Electrónica de Control.....	16
3.3.1.1.1 Gestión de Lazo o Bucle Abierto.....	16
3.3.1.1.2 Gestión de Lazo o Bucle Cerrado.....	17
3.3.1.1.3 Arquitectura de la U.C.E.	17
3.3.1.1.4 Memorización de Errores y Estructura de la Memoria de Errores.....	19
3.3.1.2 Lógicas de Funcionamiento de los Sistemas Actuales.....	20
3.3.1.2.1 Autoadaptación del Sistema.....	20
3.3.1.2.2 Autodiagnos.....	20
3.3.1.2.3 Reconocimiento del Código de Seguridad.....	21
3.3.1.2.4 Control del Arranque en Frío.....	21
3.3.1.2.5 Control de la Combustión.....	21
3.3.1.2.6 Control del Diagrama de Fases de la Distribución y la Geometría Variable del Colector de Admisión.....	22
3.3.1.2.7 Control de la Detonación.....	22
3.3.1.2.8 Control del Enriquecimiento de la Mezcla en Transitorios Positivos.....	23
3.3.1.2.9 Corte de la Inyección de Combustible en Transitorios Negativos.....	23
3.3.1.2.10 Recuperación de los Vapores de Combustible.....	23
3.3.1.2.11 Control de las R.P.M. máximas del Motor.....	24
3.3.1.2.12 Corte de la Alimentación de Combustible mediante la Electrobomba de Combustible.....	24
3.3.1.2.13 Conexión con la Instalación de Climatización.....	24
3.3.1.2.14 Reconocimiento de la Posición de los Cilindros.....	24
3.3.1.2.15 Regulación del Tiempo de Inyección.....	25
3.3.1.2.16 Regulación del Avance del Encendido.....	25
3.3.1.2.17 Control y Gestión del Ralentí.....	26
3.3.1.2.18 Control del Electroventilador de Refrigeración del Radiador.....	26
3.3.1.2.19 Control Inercial de la Alimentación de la Electrobomba de Combustible.....	26
3.3.1.3 Alimentación de Combustible.....	26
3.3.1.3.1 Bomba Eléctrica de Alimentación.....	26
3.3.1.3.2 Regulador de la Presión de Inyección.....	27
3.3.1.3.3 Inyectores.....	28

3.3.1.4	Comportamiento Dinámico del Aire en el Colector de Admisión.....	29
3.3.1.5	Determinación del Régimen de Giro del Motor.....	31
3.3.1.5.1	Señal del Circuito de Encendido.....	31
3.3.1.5.2	Señal Inductiva del Cigüeñal.....	32
3.3.1.5.3	Señal Hall del Arbol de Levas.....	32
3.3.1.6	Determinación de la Posición de la Mariposa de Gases del Motor.....	33
3.3.1.6.1	Caja de Contactos de la Mariposa de Gases.....	33
3.3.1.6.2	Potenciómetro de la Mariposa de Gases.....	34
3.3.1.7	Principio de Regulación del Par del Motor.....	35
3.3.1.7.1	Regulación del Par.....	35
3.3.1.8	Regulación de la Cantidad de Aire Adicional.....	36
3.3.1.8.1	Válvula de Aire Adicional.....	36
3.3.1.8.2	Regulación Escalonada ó Pulsatoria.....	37
3.3.1.8.3	Actuador del Ralentí.....	38
3.3.1.9	Determinación del Caudal de Aire.....	38
3.3.1.9.1	Sonda Volumétrica del Caudal de Aire.....	38
3.3.1.9.2	Caudalímetro de Hilo Caliente.....	39
3.3.1.10	Determinación de la Temperatura del Motor.....	41
3.3.1.11	Detección del Estado de Detonación del Motor.....	42
3.3.1.12	Sonda Lambda.....	42
3.3.1.12.1	Dosado Estequiométrico.....	43
3.3.1.12.2	Sonda Lambda Binaria.....	44
3.3.1.12.3	Sonda Lambda Proporcional.....	48
3.3.2	<i>Estrategias de Control basadas en Modelos Dinámicos no lineales del Motor.....</i>	49
3.3.2.1	Introducción.....	49
3.3.2.2	Estrategias para el Control de la Inyección de Combustible.....	50
3.3.2.3	Modelos Dinámicos.....	51
3.3.2.3.1	Dinámica del Aire de la Admisión.....	51
3.3.2.3.2	Retrasos en el Sistema.....	52
3.3.2.3.3	Dinámica del Combustible.....	52
3.3.2.3.4	Dinámica del Sensor UEGO antes del Catalizador.....	53
3.3.2.3.5	Dinámica en el Catalizador Catalítico.....	54
3.3.2.3.6	Dinámica del sensor EGO después del Catalizador.....	54
3.3.3	<i>Sistemas de Inyección No Cartográficos con Sonda Lambda.....</i>	55
3.3.3.1	Actuaciones en Lazo Cerrado.....	56
4.	Objetivos.....	59
5.	Desarrollo de la Instalación.....	63
5.1	<i>Banco de Pruebas del Motor.....</i>	63
5.1.1	<i>Parámetros Técnicos del Motor de Pruebas.....</i>	64
5.1.2	<i>Infraestructura creada ó acondicionada.....</i>	64
5.1.2.1	Reparación del Freno Hidráulico del Banco de Pruebas.....	64
5.1.2.2	Reparación y ajuste del Sistema de Refrigeración del Motor de Pruebas.....	65
5.1.2.3	Instalación de una sonda Lambda Proporcional en el Banco de Pruebas.....	66
5.1.2.4	Instalación de un Encoder Absoluto Programable para la Sincronización de la Inyección Secuencial.....	67
5.1.2.4.1	Programación informática del Encoder.....	68
5.1.2.5	Instalación de un Potenciómetro en la Mariposa de Gases del Motor.....	68
5.1.2.6	Instalación de un Manómetro en la Rampa de Inyectores.....	69
5.1.3	<i>Equipos Auxiliares de Medición.....</i>	69
5.1.3.1	Medición del Consumo de Combustible.....	69
5.1.3.2	Medición de la Contaminación en los Gases de Escape.....	70
5.1.4	<i>Instalaciones Preliminares.....</i>	70
5.1.4.1	Monitorización de los Pulsos de Inyección.....	70
5.1.4.2	Circuito para la modificación de la señal del Caudalímetro del Motor.....	71
5.1.4.3	Variación de la señal de ajuste del Avance del Encendido del Motor.....	71
5.2	<i>Instalación Informática para la Adquisición/Procesamiento de Datos y Gestión General del Sistema.....</i>	73
5.2.1	<i>Estudio de Alternativas.....</i>	73
5.2.1.1	Alternativas de generación de Pulsos de Inyección.....	73

5.2.1.1.1	Tarjeta con cuatro canales <i>counter</i> de salida.....	73
5.2.1.1.2	Tarjeta con un canal <i>counter</i> de salida.....	73
5.2.1.1.3	Tarjeta con dos canales <i>counter</i> de salida.....	74
5.2.1.2	Alternativas de Detección del PMS del Motor.....	76
5.2.2	<i>Sistema Desarrollado</i>	76
5.2.3	<i>Requerimientos del Software de Control</i>	77
5.2.4	<i>Interacción con otros Componentes</i>	77
5.2.5	<i>Visión global de la Instalación</i>	77
5.2.6	<i>Programa Informático de Control</i>	78
5.2.6.1	Requerimientos del Programa.....	79
5.2.6.2	Diagrama de Entradas/Salidas.....	82
5.2.6.3	Descripción del Programa de Control.....	83
5.2.7	<i>Cálculo de la Transmisión de la Información</i>	86
5.2.7.1	Adquisición Analógica de las R.P.M. del Motor.....	86
5.2.7.2	Adquisición Analógica de la λ , el Par y la Posición de la Mariposa.....	88
5.2.7.3	Adquisición Analógica de los Contaminantes.....	89
5.2.7.4	Transformación de las Entradas en Pulsos de Cuenta.....	90
5.2.7.5	Codificación.....	90
5.2.7.5.1	Salida Digital PA.....	91
5.2.7.5.2	Salida Digital PB.....	91
5.2.7.5.3	Salida Digital PC.....	91
5.2.8	<i>Sistema para la Adquisición y Procesamiento de Señales Analógicas</i>	91
5.2.8.1	Tarjeta de Entradas/Salidas Analógica/Digital (Tarjeta de Entrada).....	92
5.2.8.1.1	Requerimientos de la Tarjeta.....	92
5.2.8.1.2	Descripción de la Tarjeta.....	92
5.2.8.1.3	Configuración de la Tarjeta.....	93
5.2.9	<i>Sistema para la Escritura Digital</i>	93
5.2.9.1	Tarjeta de Entradas/Salidas Digital (Tarjeta de Salida).....	93
5.2.9.1.1	Requerimientos de la Tarjeta.....	93
5.2.9.1.2	Descripción de la Tarjeta.....	93
5.2.9.1.3	Configuración de la Tarjeta.....	94
5.3	<i>Sistema de la Electrónica de Control</i>	98
5.3.1	<i>Descripción</i>	98
5.3.2	<i>Requerimientos Generales</i>	99
5.3.3	<i>Visión Global de la Etapa Electrónica</i>	100
5.3.4	<i>Precisión de la Etapa Electrónica</i>	102
5.3.4.1	Cálculos de precisión.....	103
5.3.4.2	Cálculo de la frecuencia del Módulo de Clock.....	103
5.3.5	<i>Arquitectura de la Electrónica de Control</i>	104
5.3.5.1	Requerimientos de la Electrónica de Control.....	104
5.3.5.2	Interacción con otras partes.....	104
5.3.5.3	Visión General de la Electrónica de Control.....	105
5.3.5.4	Justificación del Diseño empleado (Diseño Modular).....	108
5.3.5.5	Módulo de Cuenta de cada cilindro.....	108
5.3.5.5.1	Requerimientos del Módulo.....	108
5.3.5.5.2	Diagrama de Entradas/Salidas.....	108
5.3.5.5.3	Descripción del Módulo.....	109
5.3.5.5.3.1	Habilitación/deshabilitación del Módulo.....	110
5.3.5.5.3.2	Contador del retraso.....	111
5.3.5.5.3.3	Contador del Tiempo de Inyección.....	111
5.3.5.5.3.4	Habilitación/deshabilitación de la señal de Apertura del Inyector.....	111
5.3.5.5.4	Funcionalidad.....	112
5.3.5.6	Módulo de Potencia.....	112
5.3.5.6.1	Requerimientos del Módulo.....	112
5.3.5.6.2	Diagrama de Entradas/Salidas.....	113
5.3.5.6.3	Descripción del Módulo.....	113
5.3.5.6.3.1	Etapa de señal (o control de LEDs).....	114
5.3.5.6.3.2	Etapa de Potencia (o Control de los Inyectores).....	114
5.3.5.6.4	Funcionalidad.....	115
5.3.5.7	Módulo de Alimentación.....	116
5.3.5.7.1	Requerimientos del Módulo.....	116
5.3.5.7.2	Diagrama de Entradas y Salidas.....	116

5.3.5.7.3	Descripción del Módulo.....	117
5.3.5.7.3.1	Etapa de Habilitación.....	117
5.3.5.7.3.2	Etapa de Control.....	118
5.3.5.7.3.3	Etapa transformadora de tensión.....	118
5.3.5.7.4	Funcionalidad.....	118
5.3.5.8	Módulo de Clock.....	119
5.3.5.8.1	Requerimientos del Módulo.....	119
5.3.5.8.2	Diagrama de Entradas/Salidas.....	119
5.3.5.8.3	Descripción del Módulo.....	120
5.3.5.9	Módulo de Detección del PMI en el Escape.....	120
5.3.5.9.1	Requerimientos del Módulo.....	120
5.3.5.9.2	Diagrama de Entradas/Salidas.....	120
5.3.5.9.3	Descripción del Módulo.....	121
6.	Gestión del Motor mediante el Sistema de Inyección en el Colector, No Cartográfico y Secuencial.....	123
6.1	<i>Constatación del Retraso Físico de la Sonda Lambda en la Dinámica del Sistema.</i>	<i>124</i>
6.2	<i>Estrategia de Gestión del Motor en los Regímenes Estacionarios.....</i>	<i>127</i>
6.2.1	<i>Temporización del Bucle de Gestión del Sistema.....</i>	<i>130</i>
6.2.2	<i>Desarrollo de un Controlador PI con sensor UEGO.....</i>	<i>132</i>
6.3	<i>Estrategia de Gestión del Motor en los Regímenes Transitorios.....</i>	<i>134</i>
6.3.1	<i>Utilización del Angulo de Apertura de la Mariposa de Gases para el ajuste de la actuación proporcional del Controlador PI con sensor UEGO.....</i>	<i>134</i>
6.4	<i>Estrategia de Gestión del Motor durante el Arranque y Calentamiento.....</i>	<i>137</i>
7.	Acciones realizadas.....	138
7.1	<i>Calibración de los Inyectores.....</i>	<i>138</i>
7.1.1	<i>Dispositivo experimental.....</i>	<i>138</i>
7.1.2	<i>Validación de la Calibración.....</i>	<i>142</i>
7.1.3	<i>Determinación del Consumo Específico del Motor.....</i>	<i>143</i>
7.2	<i>Plan de Ensayos sobre el Motor.....</i>	<i>143</i>
7.2.1	<i>Sistema de Inyección Cartográfico y Simultáneo.....</i>	<i>143</i>
7.2.2	<i>Sistema de Inyección No Cartográfico y Secuencial.....</i>	<i>146</i>
7.3	<i>Pruebas sobre el Motor.....</i>	<i>150</i>
7.3.1	<i>Ciclo Europa.....</i>	<i>150</i>
7.3.1.1	<i>Descripción del Ciclo.....</i>	<i>150</i>
7.3.1.2	<i>Representación del Ciclo Europa en la Característica Par vs R.P.M. del Motor.....</i>	<i>152</i>
7.3.1.3	<i>Construcción de la Característica Tractiva del Automóvil analizado.....</i>	<i>152</i>
7.3.1.4	<i>Representación del Par Resistivo Total en la Característica Parcial de Velocidad.....</i>	<i>154</i>
7.3.2	<i>Sistema de Inyección en el Colector, Cartográfico y Simultáneo.....</i>	<i>155</i>
7.3.2.1	<i>Caracterización original del Motor de Pruebas.....</i>	<i>156</i>
7.3.2.2	<i>Ajuste Estequiométrico de los Pulsos de Inyección en Estacionarios.....</i>	<i>158</i>
7.3.2.3	<i>Comportamiento del Motor de Pruebas en el Ciclo Europa.....</i>	<i>159</i>
7.3.2.3.1	<i>Estacionarios.....</i>	<i>160</i>
7.3.2.3.2	<i>Transitorios.....</i>	<i>161</i>
7.3.3	<i>Sistema de Inyección en el Colector, No cartográfico y Secuencial.....</i>	<i>162</i>
7.3.3.1	<i>Comportamiento General del Motor de Pruebas.....</i>	<i>162</i>
7.3.3.2	<i>Comportamiento del Motor de Pruebas en Estacionarios.....</i>	<i>164</i>
7.3.3.3	<i>Comportamiento del Motor de Pruebas en Transitorios.....</i>	<i>165</i>

8. Evaluación de los Resultados Experimentales.....	171
8.1 Ajuste Estequiométrico de los Pulsos de Inyección.....	171
8.2 Sistema de Inyección en el Colector, No cartográfico y Secuencial.....	174
8.2.1 Regímenes Estacionarios.....	174
8.2.1.1 Ciclo Europa. Estacionario 336-346 segundos 2ª Etapa.....	174
8.2.1.2 Estacionario medianas vueltas y medianas cargas.....	175
8.2.2 Regímenes Transitorios.....	177
8.2.2.1 Ciclo Europa. Transitorio 55-61 segundos 1ª Etapa.....	178
8.2.2.2 Ciclo Europa. Transitorio 316-336 segundos 2ª Etapa.....	180
9. Conclusiones y Orientación del Trabajo Futuro.....	183
9.1 Conclusiones Generales de la Gestión No Cartográfica de Inyección de Gasolina.....	183
9.2 Conclusiones Específicas de la Sincronización de la Gestión de la Inyección.....	186
9.3 Orientación del Trabajo Futuro.....	187
10. Referencias Bibliográficas.....	190