

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERIA MECANICA AUTOMOTRIZ

Tesis previa a la obtención
del Título de Ingeniero
Mecánico Automotriz

“Diseño, Construcción e Implementación de un Sistema de Control Electrónico para Optimizar el Sistema de Dirección Hidráulica del Vehículo Honda CRV del año 1998”

Autores:

Marco Patricio Chabla Vizhco

Juan Fernando Solórzano Valencia

Director:

Ing. Juan Pablo Montero Salgado

CUENCA-ECUADOR

2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo “Diseño, construcción e implementación de un sistema de control electrónico para optimizar el sistema de dirección hidráulica del vehículo Honda CRV del año 1998” fue desarrollado por Marco Patricio Chabla Vizhco y Juan Fernando Solórzano Valencia, bajo mi supervisión.

Cuenca, 22 de marzo de 2013



Ing. Juan Pablo Montero Salgado

DECLARACIÓN

Nosotros, Marco Patricio Chabla Vizhco y Juan Fernando Solórzano Valencia, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Marco Patricio Chabla Vizhco



Juan Fernando Solórzano Valencia

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis va dedicado a toda mi familia, a mis padres Julio Chabla y Laura Vizhco, que siempre me brindaron su apoyo espiritual, moral y económico, para lograr obtener el título de Ing. Mecánico Automotriz.

Marco Chabla

DEDICATORIA

A las personas que me apoyaron desinteresadamente en mi desarrollo académico, que sobre todo estuvieron tan pendientes y que solo esperaban de mi la felicidad y el éxito; a Marina mi Madre, Marcelo mi Padre, mis Hermanos Lucia, Mónica y Santiago.

Juan Solórzano

AGRADECIMIENTOS

A nuestros familiares quienes nos brindaron su apoyo incondicional en cada momento y de una u otra manera, nos han ayudado a salir adelante y alcanzar nuestras metas.

Al Ingeniero Juan Pablo Montero por habernos ayudado y guiado durante el desarrollo del proyecto de tesis.

Marco Chabla,

Juan Solórzano

Tabla de contenido

CERTIFICACIÓN	II
DECLARACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTOS	VI
Lista de Acrónimos	XXII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	2
1.1 MISIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN.....	2
1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN.....	2
1.2.1 Seguridad.....	2
1.2.2 Precisión.....	3
1.2.3 Irreversibilidad.....	3
1.2.4 Estabilidad.....	3
1.2.5 Suavidad y comodidad.....	3
1.2.6 Reversibilidad	3
1.3 ASISTENCIA HIDRÁULICA.....	4
1.4 COMPONENTES DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA.....	5
1.4.2 Bomba.....	5
1.4.3 Válvula Reguladora de caudal y Presión.....	6
1.4.4 Válvula distribuidora.....	7
1.4.5 Cremallera de dirección asistida.....	8
1.5 MECANISMO DE MANDO.....	9

1.5.1	Volante.....	9
1.5.2	Columna de la dirección.....	10
1.5.3	Cañerías de la dirección asistida.....	11
1.6	FUNCIONAMIENTO DE LA DIRECCIÓN HIDRÁULICA.....	12
1.6.1	Bomba de dirección hidráulica.....	12
1.6.2	Regulador de caudal y presión.....	14
1.6.3	Válvula de mando.....	16
1.6.4	Cremallera de dirección.....	18
1.6.5	Volante.....	18
1.6.5.1	Airbag.....	19
1.6.6	Columna de la dirección.....	20
CAPITULO II.....		24
2.1	INTRODUCCIÓN.....	24
2.2	GENERALIDADES.....	24
2.3.1	Descripción de los Sensores.....	25
2.3.2	Clasificación de los sensores.....	26
2.3.3	Sensores empleados en sistemas de dirección con asistencia variable.....	26
2.3.3.1	Sensor de velocidad del vehículo.....	27
2.3.3.2	Sensores de ángulo del volante de dirección.....	27
2.3.3.3	Sensor de Par de la Dirección.....	27
2.3.4	Sensores destinados para el diseño de control electrónico del sistema de dirección hidráulica del vehículo Honda CRV.....	29
2.3.4.1	Sensor de ángulo de giro para el vehículo Honda C-RV.....	29
2.3.4.1.1	Sensor potenciómetro multivuelta para la dirección.....	29
2.3.4.2	Sensor de velocidad del vehículo Honda C-RV.....	30

2.3.5	Sensor para detectar la presión en el sistema de la dirección hidráulica. ..	31
2.3.5.1	Sensor de Presión.	31
2.4	ESTRUCTURA DEL CONTROL ELECTRÓNICO DE LA DIRECCIÓN HIDRÁULICA.	32
2.5	TOMA DE SEÑALES DE LOS SENSORES.	33
2.5.1	Toma de la Señal del Sensor de Velocidad.	34
2.5.1.1	Datos de frecuencia del sensor VSS a diferente velocidad.....	35
2.5.1.2	Determinación de la ecuación Velocidad vs Frecuencia.....	36
2.5.2	Señal del sensor de ángulo de giro.	37
2.5.2.1	Dispositivo a utilizar para la medición del ángulo de giro de dirección....	37
2.5.2.2	Obtención de datos de voltaje del sensor de ángulo de giro.	38
2.5.2.3	Obtención de la ecuación para la activar la electroválvula del sistema de control. 39	
2.5.3	Señal del sensor de revoluciones del motor (CKP Cranshaft Position Sensor). 43	
2.5.3.1	Adquisición de datos de frecuencia del sensor de revoluciones del motor. 44	
2.5.3.2	Determinación de la ecuación del sensor de revoluciones del motor.	45
2.5.3.3	Adquisición de la ecuación del sensor de presión del sistema de dirección hidráulica.	45
2.6	CONVERTIDOR ANALÓGICO/DIGITAL.	47
2.7	DISEÑO DEL CONTROLADOR.	49
2.7.1	Elementos básicos de un sistema de control.	49
2.7.2	Introducción a los sistemas de control.	50
2.8	MICROCONTROLADOR. ⁴³	51
2.8.1	Componentes del Microcontrolador.	51

2.8.1.1	Procesador (CPU).’ ’	52
2.8.1.2	Memoria de Programa. ^{46,47,48}	52
2.8.1.3	Periferia.’ ’	53
2.8.2	Características del Microcontrolador PIC16F877.	53
2.8.2.1	Descripción de Pines.	53
2.8.2.2	Características del PIC 16F877.	56
2.8.2.3	Descripción de los puertos.	57
	Puerto A:	57
2.8.3	Diagrama de bloques del control electrónico en proteus.	58
2.8.4	Pines Utilizados del Microcontrolador Maestro y Esclavo.	59
2.8.5	Accionamiento de la electroválvula mediante modulación de ancho de pulso (PWM).	60
2.8.6	Programación del microcontrolador y restricciones para el control.	61
2.8.6.1	Programación para que el microcontrolador lea las señales de los sensores.	62
2.8.6.1.1	Procesamiento de la señal del sensor de velocidad (VSS).	62
2.8.6.1.2	Señal del sensor de Presión.	63
2.8.6.1.3	Señal del sensor de Angulo de Giro de la Dirección.	63
2.8.6.1.4	Señal del sensor CKP	63
2.8.6.2	Restricciones para el control electrónico.	64
2.8.6.2.1	Restricciones para velocidades menores a 15 km/h.	64
2.8.6.2.2	Restricciones para velocidad menor a 15 Km/h y topes de giro del volante.	66
2.8.6.2.3	Restricciones para velocidades de 15 Km/h a 40 Km/h.	68
2.9	ACTUADOR.	70

2.9.1	Datos técnicos del sistema de dirección, para la selección de la electroválvula.....	70
2.9.2	Necesidades de control, para la selección de la electroválvula.....	70
2.9.3	Selección de la electroválvula.....	71
2.10	PROGRAMACIÓN DEL PWM DE ACTIVACIÓN DE LA ELECTROVÁLVULA DEL SISTEMA DE CONTROL.....	71
2.11	CIRCUITO ELÉCTRICO PARA ACTIVAR LA ELECTROVÁLVULA.	73
2.12	VISUALIZACIÓN DE DATOS.	74
2.13	DISEÑO HIDRÁULICO.	74
2.14	SELECCIÓN DE ACOPLEROS Y MANGUERAS PARA IMPLEMENTAR EL SISTEMA HIDRÁULICO.....	75
CAPITULO III.....		79
3.1	INTRODUCCION.....	79
3.2	LA UBICACIÓN DEL SENSOR DE ÁNGULO DE GIRO DENTRO DEL VEHÍCULO.....	79
3.2.1	Diseño y construcción del piñón para el potenciómetro multivuelta.....	80
3.2.1.1	Parámetros para el diseño del piñón.....	80
3.2.1.2	Construcción del piñón.	82
3.2.2	Montaje del Sensor de ángulo de giro en el vehículo.	82
3.3	INSTALACIÓN DE LA ELECTROVÁLVULA EN EL VEHÍCULO.....	83
3.3.1	Posición del soporte para la electroválvula.....	83
3.3.1.1	La proximidad de la electroválvula en relación al sistema de dirección hidráulica.	84
3.3.1.2	El espacio disponible en el vehículo.	84
3.3.2	Diseño de la base para la electroválvula.	85
3.3.3	Construcción de la base para la electroválvula.	87

3.4	TOMA DE SEÑALES E INSTALACION DE COMPONENTES ELECTRONICOS IMPLEMENTADOS.....	88
3.4	IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL ELECTRO-HIDRÁULICO EN EL VEHÍCULO.....	91
3.4.1	Implementación del soporte para la electroválvula.....	91
3.4.2	Implementación de la Electroválvula.....	92
3.4.3	Implementación de los componentes del sistema hidráulico.	92
3.4.4	Implementación del sistema eléctrico.	96
3.5	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.	96
3.5.1	Construcción del Circuito Impreso.	97
3.6	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.	99
CAPITULO IV.....		101
4.1	INTRODUCCIÓN.....	101
4.2	GENERALIDADES DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN.....	102
4.2.1	Pruebas de rigidez en el volante.....	102
4.2.1.1	Comportamiento de la dirección hidráulica al aplicar fuerza sobre el volante a distinta velocidad.....	103
4.2.1.2	Comportamiento de la dirección con el sistema de control electrónico implementado que optimiza la dirección hidráulica del vehículo.	105
4.2.1.3	Análisis de resultados del sistema de dirección sin optimización y con optimización del sistema de dirección.	107
4.3	MEDICIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	108
4.3.1	Métodos de medición de consumo de combustible.....	109
4.3.1.1	Método de tanque lleno. ⁵⁵	109
4.3.1.2	Método de la varilla calibrada.....	110

4.4	PRUEBAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	110
4.4.1	Pruebas de consumo en aparcamiento sin el módulo de control de dirección.....	111
4.4.2	Pruebas de consumo en ciudad sin el sistema de control implementado.	112
4.4.3	Pruebas de consumo en ciudad con el sistema de control implementado. 113	
4.4.4	Análisis estadístico para verificar si existe disminución de consumo de combustible en la conducción por ciudad.	113
4.4.4.1	Prueba de Hipótesis.....	114
4.4.4.2	Análisis de la varianza ANOVA	114
4.4.4.3	Análisis del consumo de combustible en la conducción por ciudad usando la prueba de hipótesis estadístico con la Tabla Anova.	115
4.4.5	Pruebas de consumo en vía rápida sin el sistema de control electrónico.	117
4.4.6	Pruebas de consumo en vía rápida con el sistema de control implementado. 118	
4.4.7	Análisis de consumo de combustible en conducción por vías rápidas usando la prueba de hipótesis estadística con la Tabla Anova.	119
4.5	ESTUDIO DE RESULTADOS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE ACUERDO AL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	121
CAPITULO V		122
5.1	INTRODUCCIÓN.....	122
5.2	ESTUDIO DE LA SITUACIÓN CON EL PROYECTO IMPLEMENTADO. 122	
5.2.1	Vida útil del proyecto.....	123
5.3	ANÁLISIS DE COSTOS.	124
5.3.1	Costo.	124
5.3.1.1	Costos variables.	124

5.3.1.2	Costo fijo.....	125
5.4	BENEFICIOS.....	125
5.5	PROCESO PARA DETERMINAR LA RELACIÓN COSTOS-BENEFICIO. 125	
5.5.1	Determinación del costo beneficio mediante cálculo.	126
5.6	FIJACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO IMPLEMENTADO.....	126
5.6.1	Costos fijos del proyecto.....	126
5.6.2	Costos variables del proyecto	127
5.6.3	Costos de mano de obra directa	128
5.6.4	Costos de la mano de obra indirecta.	128
5.6.5	Costos operativos para el correcto funcionamiento del prototipo.....	129
5.7	DETERMINACIÓN DE LOS BENEFICIOS SOCIALES QUE CAUSA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DE LA DIRECCIÓN.	129
5.7.1	Beneficios tangibles	129
5.7.2	Beneficios intangibles	130
5.7.3	Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del proyecto. 130	
5.7.3.1	Cuantificación de los beneficios por disminución de accidentes.....	131
5.7.3.2	Cuantificación del beneficio por ahorro de combustible.	132
5.8	CALCULO TOMANDO COMO BENEFICIO EL AHORRO DE COMBUSTIBLE Y COMO COSTO A LA ELEABORACION DE UN PROTOTIPO. 133	
5.9	CALCULO TOMANDO COMO BENEFICIO LA DISMINUCION DE ACCIDENTES Y COMO COSTO A LA ELEABORACION DE UN PROTOTIPO. 135	
	CONCLUSIONES	137

RECOMENDACIONES	138
BIBLIOGRAFIA	139
Anexos	140
Anexo 1: Transmisión de la señal de velocidad.	141
Anexo 2: Simulación del Sistema de Control.	143
Anexo 3: Líneas de Código Para Programar el Microcontrolador.	145
Anexo 4: Visualización en el LCD de los Parámetros de Velocidad (VSS), Régimen de Giro (RPM), Grado de Asistencia (A) y Presión del Sistema Hidráulico (P).	155
Anexo 5: Esquema del Sistema Hidráulico de la Dirección.	157
Anexo 6: Esquema del Sistema Hidráulico Para la Dirección Variable.	159
Anexo 7: Análisis de Tensiones de la Base Para la Electroválvula.	161
Anexo 8: Análisis de Tensiones de la Base Para la Electroválvula.	168
Anexo 9: Tabla de Registro de Consumo de Combustible.	175
Anexo 10: Tabla de Distribución F.	177

Índice de Figuras

Fig. 1. Sistema de Dirección Hidráulica, Vehículo Honda CRV.....	4
Fig. 2. Depósito del Sistema de Dirección Hidráulica.....	5
Fig. 3. Bomba de Dirección Hidráulica	6
Fig. 4. Regulador de Presión y Caudal.....	7
Fig. 5. Válvula distribuidora.	8
Fig. 6. Cremallera de la Dirección Asistida	9
Fig. 7. Volante de dirección	9
Fig. 8. Columna de Dirección	10
Fig. 9. Tubos y Manguitos de la Dirección Asistida.....	11
Fig. 10. Componentes de la Dirección Asistida Hidráulica de Cremallera	12
Fig. 11. Componentes de la Bomba de Paletas Equilibrada	13
Fig. 12. Bomba de Paletas Compensada.	14
Fig. 13. Válvula de Control de Flujo	15
Fig. 14. Válvula De Reguladora de Presión.	16
Fig. 15. Dirección Hidráulica de Cremallera, con Distribuidor Giratorio	17
Fig. 16. Cremallera de Dirección	18
Fig. 17. Despiece y Montaje del Volante.....	19
Fig. 18. Airbag Volante.....	19
Fig. 19. Columna de Dirección	20
Fig. 20. Guía de Absorción	21
Fig. 21. Interruptor Combinado	22
Fig. 22. Interruptor de Encendido y el Mecanismo de Bloqueo	22
Fig. 23. Enclavamiento del Volante de Dirección	23
Fig. 24. Función Básica de un Sensor	25
Fig. 25. Sistema de Dirección Hidráulica con Asistencia Variable	28
Fig. 26. Sistema de Dirección Eléctrica	28
Fig. 27. Potenciómetro Multivuelta de Precisión.....	30
Fig. 28. Esquema del Sensor Óptico	31
Fig. 29. Sensor de Presión.....	32

Fig. 30. Estructura del Control Electrónico	33
Fig. 31. Osciloscopio OTC	34
Fig. 32. Toma de Señal Sensor VSS	34
Fig. 33. Señal Sensor VSS	35
Fig. 34. Recta de Velocidad vs Frecuencia	37
Fig. 35. Potenciómetro Multivuelta	38
Fig. 36. Toma de señal del Sensor de Giro de la Dirección.....	38
Fig. 37. Ecuación de Giro a la Izquierda.....	41
Fig. 38. Ecuación de Giro a la Derecha	42
Fig. 39. Pines del CKP	43
Fig. 40. Señal del CKP.....	44
Fig. 41. Señal del CKP.....	45
Fig. 42. Ecuación del Sensor de Presión	46
Fig. 43. Forma de una Señal Analógica y Digital	47
Fig. 44. Conexión de Señales Analógicas.....	48
Fig. 45. Diagrama General de un Sistema de Control.....	50
Fig. 46. Estructura del Microcontrolador.....	51
Fig. 47. PIC16F877	54
Fig. 48. Señal de Modulación de Ancho de Pulso (PWM)	61
Fig. 49. Porcentaje de Asistencia con Velocidad.....	69
Fig. 50. Electroválvula	71
Fig. 51. Excitación de la Electroválvula	73
Fig. 52. Instalación del Visualizador LCD.....	74
Fig. 53. Acople hidráulico en forma de Te Macho	75
Fig. 54. Mangueras Hidráulicas	76
Fig. 55. Acople Hidráulico Codo	76
Fig. 56. Acople Hidráulico Te Hembra.....	77
Fig. 57. Manguera de Retorno.....	78
Fig. 58. Deformación del piñón en los puntos críticos	81
Fig. 59. Construcción del Piñón.....	82
Fig. 60. Montaje del Sensor de Angulo de Giro de la Dirección.....	83

Fig. 61. Utilización Óptima del Espacio en el Vehículo.....	84
Fig. 62. Diseño de la base para la electroválvula.....	85
Fig. 63. Representación de las Tensión de Von Mises	87
Fig. 64. Construcción de la Base.....	88
Fig. 65. Empalmes de Cables.....	88
Fig. 66. Conexionado de la Electroválvula	89
Fig. 67. Conexionado del Sensor de Presión.....	89
Fig. 68. Conexionado del Sensor de Angulo de Giro	90
Fig. 69. Instalación de un Conector de 9 Pines	90
Fig. 70. Ubicación de la Base y Placa de Montaje Hidráulica.....	91
Fig. 71. Cierre de dos Vías con Tapones de Cobre de la Electroválvula.....	92
Fig. 72. Montaje de la Electroválvula en el Vehículo.....	92
Fig. 73. Instalación de la Cañería y Acoples para la Derivación del fluido Hidráulico..	93
Fig. 74. Instalación de Codos y Uniones en el Sistema de Dirección.....	94
Fig. 75. Acople para el Sensor de Presión	94
Fig. 76. Instalación los Acoplen con el Cuerpo Hidráulico.	95
Fig. 77. Instalación de la Cañería de Retorno	95
Fig. 78. Circuito Electrónico en Protoboard	96
Fig. 79. Ruteo del Circuito Impreso.....	97
Fig. 80. Circuito Impreso Simulado.....	98
Fig. 81. Parte Posterior del Circuito Impreso Simulado	98
Fig. 82. Circuito Impreso Construido	99
Fig. 83. Caja para el Visualizador LCD.....	100
Fig. 84. Toma de fuerza aplicada sobre el volante	103
Fig. 85. Fuerza Aplicada Sobre el Volante a Diferentes Velocidades, Sin Control Electrónico	105
Fig. 86. Fuerza Aplicada Sobre el Volante a Diferentes Velocidades, Con el Control Electrónico	107
Fig. 87. Medición de Fuerza Aplicada Sobre el Volante, Con y Sin el Control Electrónico	108

Fig. 88. Presión del Sistema de Dirección Hidráulica Sin el Sistema de Control en su Tope Mecánico.....	111
Fig. 89. Presión del Sistema de Dirección Hidráulica Con el Sistema de Control en su Tope Mecánico.....	111
Fig. 90. Valor de Estadística de Prueba	117
Fig. 91. Ubicación del Punto Crítico en la Curva	120
Fig. 92. Principales Causas de Accidentes.....	132

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos de Funcionamiento de la Dirección.....	17
Tabla 2. Exigencias Principales Impuestas a los Sensores	26
Tabla 3. Ventajas y Desventajas del Sensor Potenciómetro	30
Tabla 4. Velocidad Vs Frecuencia	36
Tabla 5. Valores de Ángulo de Giro a la Izquierda.....	39
Tabla 6. Datos Elementales Sobre Nivel De La Máquina	40
Tabla 7. Frecuencia vs RPM.....	44
Tabla 8. Voltaje vs Presión	46
Tabla 9. Descripción de Pines.....	54
Tabla 10. Características PIC 16F877.....	56
Tabla 11. Pines del PIC Esclavo	59
Tabla 12. Pines del PIC Maestro.....	60
Tabla 13. Datos Para Programar Giro del Volante	66
Tabla 14. Datos Para Programar Giro del Volante	67
Tabla 15. Datos para Control en Velocidad	68
Tabla 16. Características del acople hidráulico Te Macho	75
Tabla 17. Características del Codo Hidráulico	77
Tabla 18. Características del acople hidráulico T hembra de Acero.....	78
Tabla 19. Datos para el diseño del piñón	80
Tabla 20. Valores de Máximo y Mínimo de la Tensión de von Mises	86
Tabla 21. Toma de Medidas de Fuerza en Curvas de Giro Leve y de Giro Moderado .	104
Tabla 22. Velocidad vs Fuerza con el Sistema de Control Electrónico Implementado .	106
Tabla 23. Datos de Consumo en Ciudad sin el Sistema de Control de la Dirección	112
Tabla 24. Datos de Consumo en Ciudad con el Sistema de Control de la Dirección	113
Tabla 25. Datos de Consumo en Ciudad Con y Sin el Sistema de Control	115
Tabla 26. Formulas de la Tabla Anova	116
Tabla 27. Tabla Anova Llenada.....	116
Tabla 28. Datos de Consumo en Ciudad.....	118
Tabla 29. Datos de Consumo en Vía Rápida con el Sistema de Control	118

Tabla 30. Datos de Consumo en Vía Rápida Con y Sin el Sistema de Control.....	119
Tabla 31. Datos de Consumo en Vía Rápida Con y Sin el Sistema de Control.....	120
Tabla 32. Diferencia de Consumo de Combustible en Ciudad	121
Tabla 33. Diferencia de Consumo de Combustible en Vía Rápida.....	121
Tabla 34. Vida Útil del Sistema de Control Electrónico.....	123
Tabla 35. Determinación de los Costos Fijos	127
Tabla 36. Determinación de los Costos Variables	127
Tabla 37. Determinación de los Costos de la Mano de Obra Directa	128
Tabla 38. Determinación de Costos de Mano de Obra Indirecta	128
Tabla 39. Determinación de los Costos de Operación	129
Tabla 40. Número de Vehículos Accidentados Entre el Año 2010 y 2011.	131
Tabla 41. Datos para el Cálculo del Valor Actual	133
Tabla 42. Determinación del Valor Actual de los Beneficios.....	134
Tabla 43. Cálculo del Valor Actual del Costo.	135
Tabla 44. Determinación del Valor Actual de los Beneficios.....	136

Lista de Acrónimos

°:	Grados.
A/D:	Conversión de una Señal Analógica a Digital.
ATF:	Fluido de Transmisión Automática (<i>Allschutz-Transport-Fahrzeug</i>).
bar:	Bares.
CKP:	Sensores de Posición del Cigüeñal (<i>Crankshaft Position</i>).
CPU:	Unidad Central de Procesamiento (<i>Central Processing Unit</i>).
DC:	Corriente Continua o Directa.
EEPROM:	ROM programable y borrrable eléctricamente (<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>).
EPROM:	ROM Programable Borrable (<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>).
Fig.:	Figura
h:	Horas.
Hz:	Hercios.
Km:	Kilómetros
LCD:	Pantalla de Cristal Líquido (<i>Liquid Crystal Display</i>).
lt:	Litros.
m:	Metros.
min:	Minutos.
mm:	Milímetros
MPa:	Megapascal
N:	Newton.
NPT:	Rosca Nacional de Tubos (<i>National Pipe Thread</i>).
PIC:	Controlador programable de interrupciones (<i>Programmable Interrupt Controller</i>).
pulg:	Pulgadas.
PWM:	Modulación de Ancho de Pulso (<i>Pulse-Width Modulation</i>).
RAM:	Memoria de Acceso Aleatorio (<i>Random-Access Memory</i>).
ROM:	Memoria de Sólo Lectura (<i>Read-Only Memory</i>).

- RPM:** Régimen mínimo de revoluciones (Ralentí).
- SRS:** Sistema de Retención Suplementaria (*Supplemental Restraint System*).
- v:** Voltaje.
- VSS:** Sensor de Velocidad del Vehículo (*Vehicle Speed Sensor*).

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA DEL VEHÍCULO HONDA CRV DEL AÑO 1998”, está basado en cinco capítulos.

En el capítulo I se hace un estudio general del sistema de dirección hidráulico, para ver la factibilidad de implementar o no, componentes adicionales a los que este posee, adicionalmente tener conocimiento claro del sistema en el que se va a intervenir.

En el capítulo II se diseña todos los componentes del sistema de control, es decir se eligen los componentes hidráulicos así como los componentes electrónicos, los diseños son elaborados con los software pertinentes, en esta parte es en donde se da las restricciones correspondientes para que el sistema entre en funcionamiento.

En el capítulo III se describe paso a paso la implementación de cada elemento en el vehículo, en esta parte, es en donde se decide en qué lugar ubicar cada elemento considerando siempre su correcto funcionamiento y libre de interferencias ya sean electrónicas o mecánicas.

En el capítulo IV se analiza la eficiencia del sistema de control implementado en el vehículo, mediante la realización de pruebas de carretera para comprobar si disminuye o no el consumo de combustible, por otro lado para verificar que el volante se vuelve más o menos rígido se hace con pruebas de carretera y con la ayuda del dinamómetro, verificando cada prueba con análisis estadístico.

En el capítulo V se tiene el análisis beneficio/costo, en esta parte se realiza un cálculo en donde se determina todos los ingresos y gastos ocasionados al realizar el proyecto y mediante una relación se determina si resulta o no beneficioso implementar el control electrónico en el vehículo Honda CRV del año 1998.

CAPITULO I

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN HIDRÁULICO DEL VEHÍCULO HONDA CRV DEL AÑO 1998.

1.1 MISIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN.

La misión del sistema de dirección es orientar las ruedas directrices del vehículo de acuerdo con las necesidades del conductor, anteriormente se utilizaba sistemas netamente mecánicos en donde el conductor tenía que realizar un gran esfuerzo para poder accionar el volante de dirección.

Con el transcurrir del tiempo y el desarrollo tecnológico se optó por una asistencia hidráulica para los sistemas mecánicos, logrando con esto que el conductor realice menos esfuerzo en el volante y de esta forma poder tomar el control del vehículo de mejor manera.

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN.¹

El sistema de dirección del vehículo debe reunir ciertas características para que el conductor realice las maniobras de forma correcta, a continuación se explican las más importantes:

1.2.1 Seguridad.

La seguridad depende de los materiales que se utilicen para la construcción de los componentes del sistema de dirección, así como también del diseño y mantenimiento del mismo. El sistema de dirección es un mecanismo de seguridad activa que debe ser inspeccionada de manera periódica para evitar averías y por ende accidentes.

¹ Miguel Ángel Pérez Belló - Circuitos fluidos Suspensión y dirección 2a Ed, Edición 2011, P 158.

1.2.2 Precisión.

La precisión se logra haciendo que la dirección no sea ni muy dura ni muy blanda, es decir que el conductor tome el control de la misma en las diferentes circunstancias de conducción sean estas velocidades elevadas o cuando el vehículo se encuentra en ralentí (El ralentí es el régimen mínimo de revoluciones por minuto).

Para tener mayor precisión en la dirección debemos evitar holguras excesivas en el sistema de dirección. Se debe tomar en cuenta que las cotas de reglaje influyen mucho en la precisión del sistema, entonces estas deben estar siempre de acuerdo con los datos del fabricante.

1.2.3 Irreversibilidad.

La irreversibilidad consiste en que al accionar el volante este debe transmitir el movimiento a las ruedas para guiar al vehículo, pero las ruedas no deben transmitir las vibraciones ocasionadas por las irregularidades de la calzada hacia el volante para no provocar pérdida de control.

1.2.4 Estabilidad.

La estabilidad es una característica muy importante, al momento de conducir en línea recta y al soltar el volante el vehículo debe mantener siempre su trayectoria, cuando esto sucede se dice que el sistema de dirección es estable.

1.2.5 Suavidad y comodidad.

La suavidad y comodidad se logra mediante una perfecta desmultiplicación de fuerza aplicada en el volante, con el fin de no causar cansancio físico ni fatiga al conductor en la conducción.

1.2.6 Reversibilidad

La reversibilidad es una característica que posee el sistema de dirección para hacer que las ruedas regresen a la línea recta, una vez que se deja de actuar sobre el mismo.

1.3 ASISTENCIA HIDRÁULICA.^{2,3}

La asistencia en el sistema de dirección es una ayuda para minimizar la fuerza que el conductor aplica sobre el volante, esta ayuda puede ser hidráulica o eléctrica.

La asistencia hidráulica que es uno de los métodos más empleados por su bajo costo y sencillez, lo único que se requiere es un circuito hidráulico que consta de:

- Un depósito de aceite
- Una bomba de paletas
- Válvula reguladora de caudal y presión.
- Una válvula distribuidora
- Un cilindro de doble efecto
- Cañerías que transportan el líquido hidráulico, ver Fig. 1

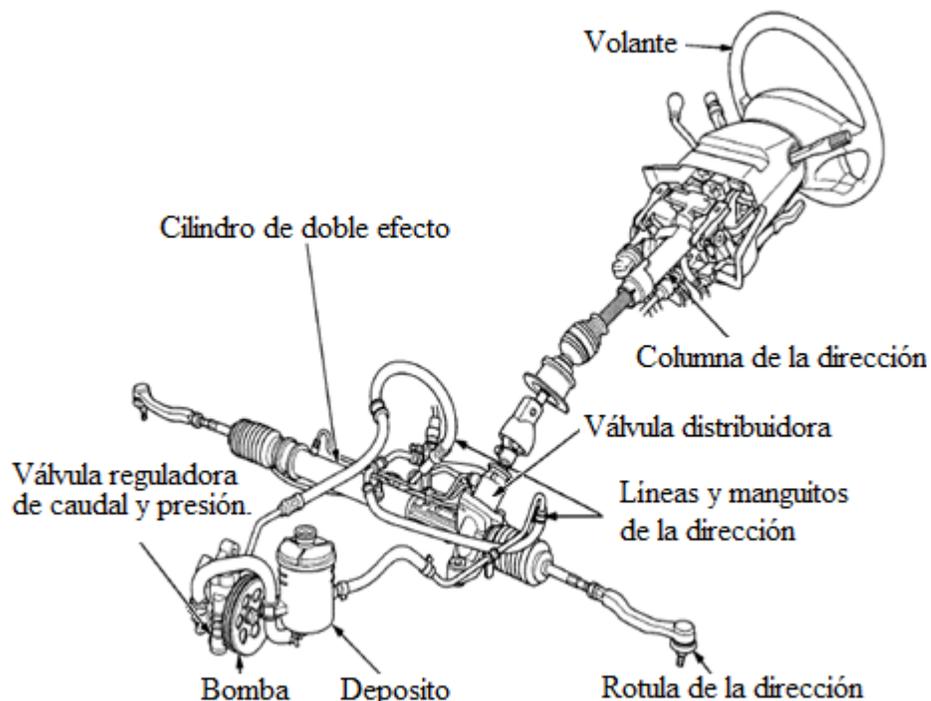


Fig. 1. Sistema de Dirección Hidráulica, Vehículo Honda CRV
Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

² Eduardo Águeda Casado, José Martín Navarro, Tomás Gómez Morales - Sistemas de transmisión de fuerza y trenes de rodaje, Edición 2012, P 387.

³ Jesús Calvo Martín - Mecánica del automóvil actualizada, Edición 1997, P 175.

1.4 COMPONENTES DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA.

A continuación se procede a describir los distintos componentes de la dirección hidráulica.

1.4.1 Depósito.^{4, 5}

El depósito está construido de un material de plástico apto para fluido de transmisión en donde se almacena el líquido hidráulico, tiene dispuesto en su envase la señalización en donde se puede observar la medida máxima y mínima del líquido ATF (Fluido de Transmisión Hidráulica).

Su ubicación debe estar por arriba de la bomba de paletas, para que de esta forma pueda alimentar de líquido hidráulico a la bomba por gravedad, lleva también un filtro en su interior para separar las impurezas del aceite y evitar daños en el sistema de dirección, ver Fig. 2.

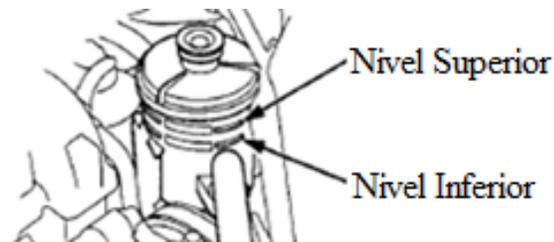


Fig. 2. Depósito del Sistema de Dirección Hidráulica
Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

1.4.2 Bomba.⁶

La bomba es la encargada de absorber el líquido hidráulico del depósito e impulsarlo al sistema a presión si este fluido encuentra resistencia, la misma que es accionada

⁴ José Font Mezquita, Juan F Dols Ruiz - Tratado sobre automóviles, Edición 2004, P 519.

⁵ Mathias F. Brejcha - Los Cambios automáticos, Edición 1978, P 132, P133.

⁶ José Font Mezquita, Juan F Dols Ruiz - Tratado sobre automóviles, Edición 2004, P 517.

mediante un eje que recibe el movimiento del motor de combustión interna mediante una banda y polea, posee una válvula reguladora de presión y limitadora de caudal. La bomba es la encargada de impulsar el líquido hidráulico, esta aporta un caudal progresivo hasta alcanzar las 1000 rpm luego de este régimen se mantiene prácticamente constante, por medio de una Válvula Reguladora de caudal y Presión, ver Fig. 3.

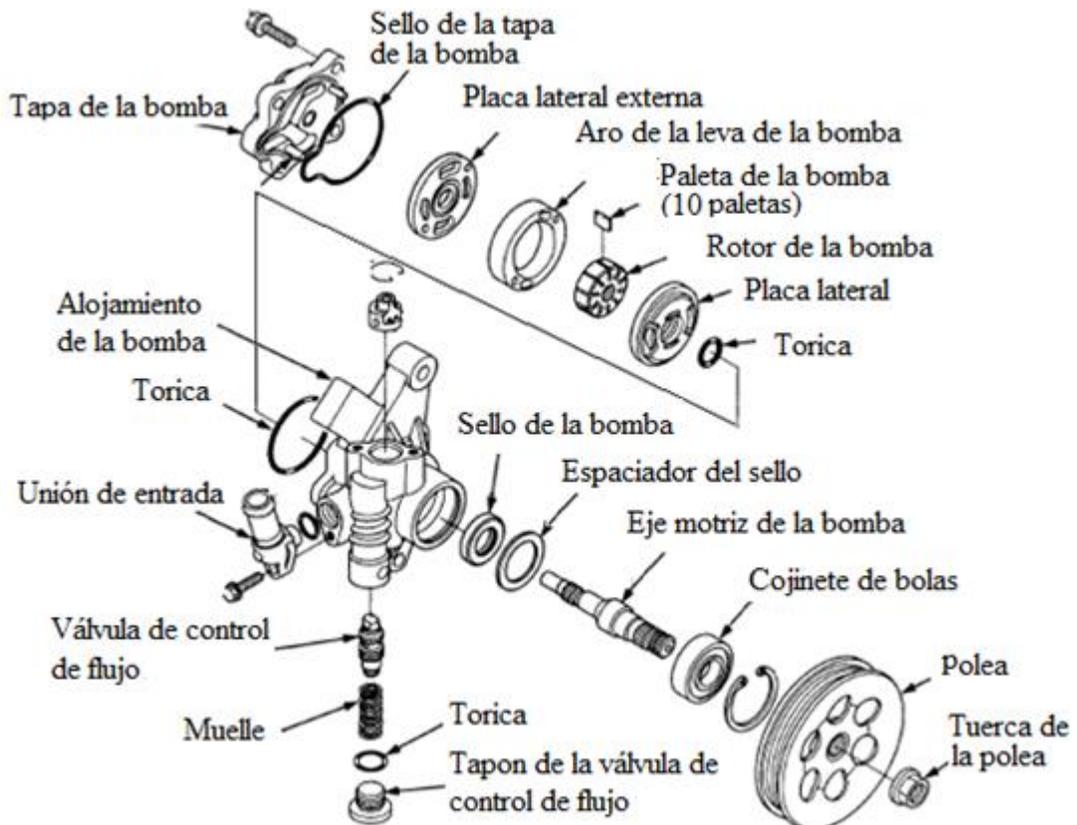


Fig. 3. Bomba de Dirección Hidráulica
Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

1.4.3 Válvula Reguladora de caudal y Presión.⁷

Es la encargada de regular, el flujo y presión en el sistema hidráulico, esto se logra mediante la utilización de una válvula con muelle calibrado y un embolo, el mismo que al detectar un caudal excesivo empuja al muelle calibrado y dirige el líquido excesivo hasta la entrada de la bomba (R), ver Fig. 4.

⁷ J. M. Alonso Pérez - Técnicas Del Automóvil. CHASIS, Edición 2008, P 481.

Para la regulación de presión se tiene una válvula de bola o descarga que de igual manera abre o cierra el paso de líquido al detectar presión excesiva, ver Fig. 4.

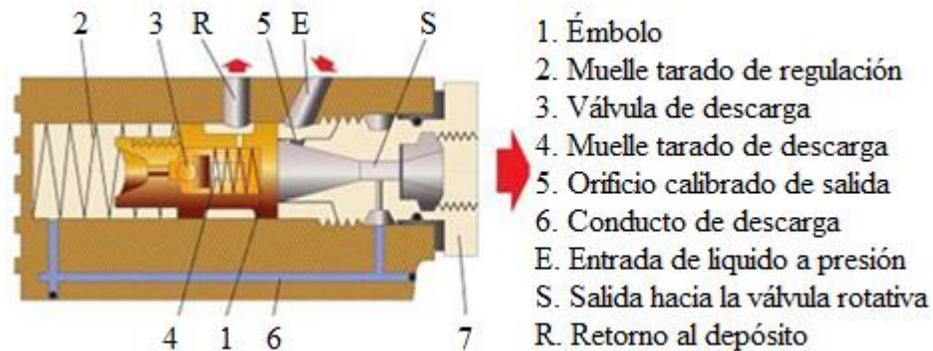


Fig. 4. Regulador de Presión y Caudal

Fuente: Tomás González Bautista, Benjamin Torres, Gonzalo del Río, José Tena, Tomás González - Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección, Edición 2008, P 433

1.4.4 Válvula distribuidora.⁸

La válvula distribuidora es la encargada de trasladar el fluido hidráulico impulsado por la bomba hasta el cilindro de doble efecto, de acuerdo a los requerimientos del conductor. Está constituida por los siguientes elementos:

- **Eje de la columna inferior de la dirección.-** Este es el encargado de recibir el movimiento de la columna de dirección, para posteriormente abrir o cerrar el paso al cilindro de doble efecto, es un eje con canales internos y juntas tóricas para asegurar la estanqueidad.
- **Caja de mando.-** Está constituida por los conductos de entrada, retorno y de alimentación del cilindro, que al sincronizar movimientos con el eje distribuidor reparte el líquido a presión hacia uno u otro lado del cilindro de doble efecto, todos estos elemento están situados en una carcasa, ver Fig. 5.

⁸ Miguel Ángel Pérez Belló - Circuitos fluidos Suspensión y dirección 2a Ed, Edición 2011, P 179

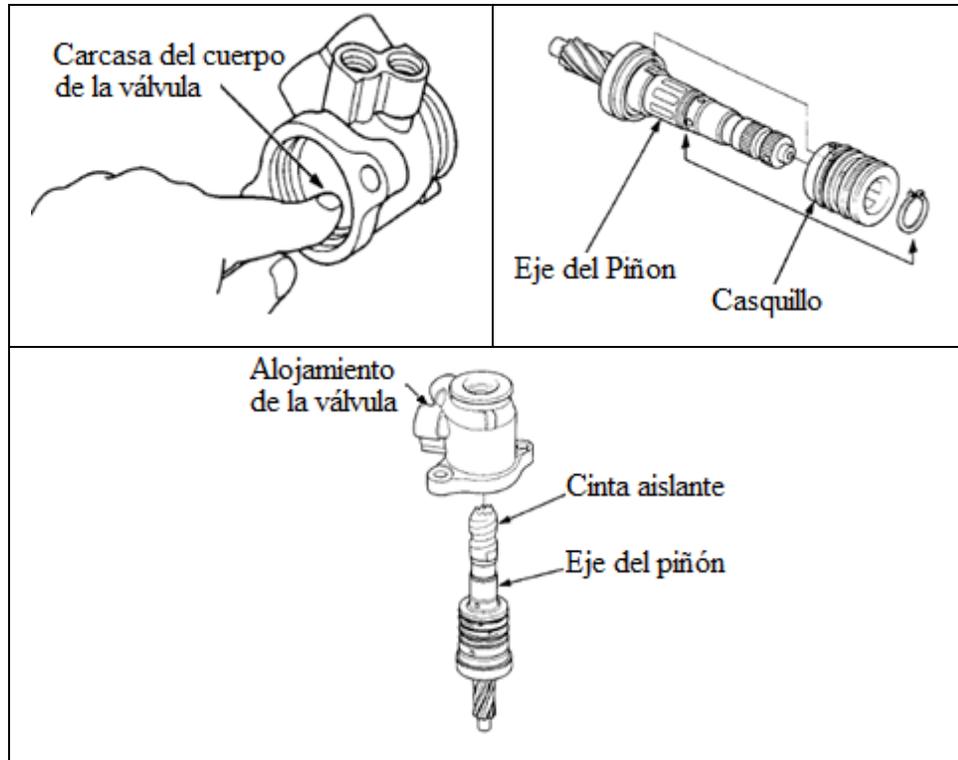


Fig. 5. Válvula distribuidora.
Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

1.4.5 Cremallera de dirección asistida.^{9, 10}

Está constituida por la cremallera y un cilindro de doble efecto, la cremallera es accionada mecánicamente por un piñón que recibe el giro de la columna de dirección, por su parte el cilindro de doble efecto está constituida por un embolo en su interior con unos anillos para asegurar la estanqueidad.

El embolo recibe el líquido a presión en uno u otro lado de sus caras de acuerdo a como el conductor gire el volante, de esta forma se disminuye la fuerza que se aplica sobre el volante, ver Fig. 6.

⁹ Jesús Calvo Martín - Mecánica del automóvil, Edición 1997, P 176.

¹⁰ Eduardo Águeda Casado, José Martín Navarro, Tomás Gómez Morales - Sistemas de transmisión de fuerza y trenes de rodaje, Edición 2012, P 390.

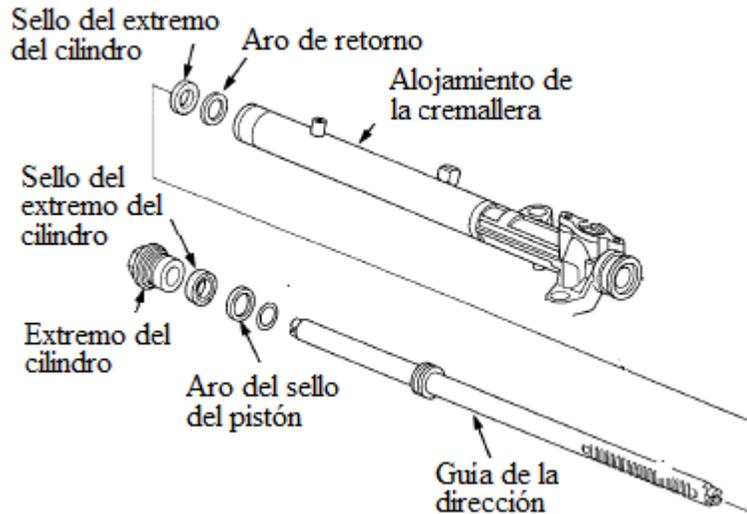


Fig. 6. Cremallera de la Dirección Asistida
 Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

1.5 MECANISMO DE MANDO.

1.5.1 Volante.¹¹

El volante tiene la misión de multiplicar la fuerza que el conductor aplica sobre él, diseñado para lograr mayor comodidad y manejo, en el caso del vehículo honda CRV dispone de un alojamiento para el air bag, ver Fig. 7.

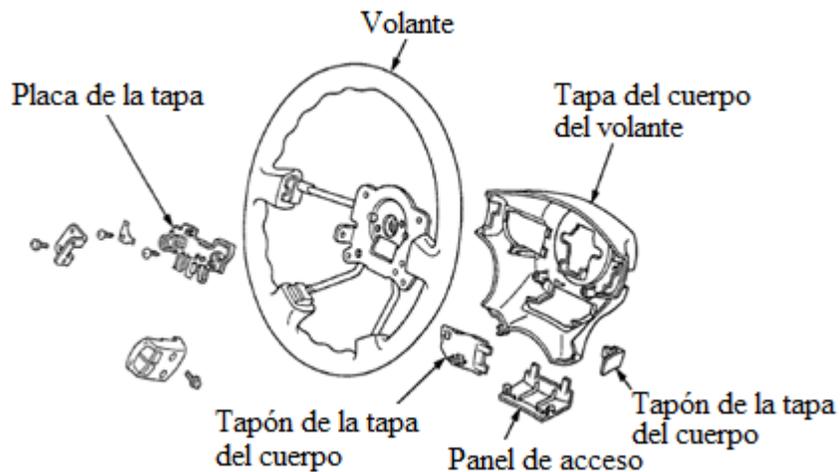


Fig. 7. Volante de dirección
 Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

¹¹ Eduardo Águeda Casado, José Martín Navarro, Tomás Gómez Morales - Sistemas de transmisión de fuerza y trenes de rodaje, Edición 2012, P 382.

1.5.2 Columna de la dirección.¹²

La columna de dirección es el elemento de unión entre el volante y la cremallera, está dispuesta de tal manera que pueda contraerse al momento de sufrir un choque, eso se logra mediante la unión del volante por tramos es decir con juntas cardan.

Adicionalmente el volante de dirección puede moverse, de arriba hacia abajo una distancia total de 23mm, hacia arriba 8 mm y hacia abajo 15mm con esto se gana en comodidad en la conducción dependiendo de la estatura del conductor, ver Fig. 8

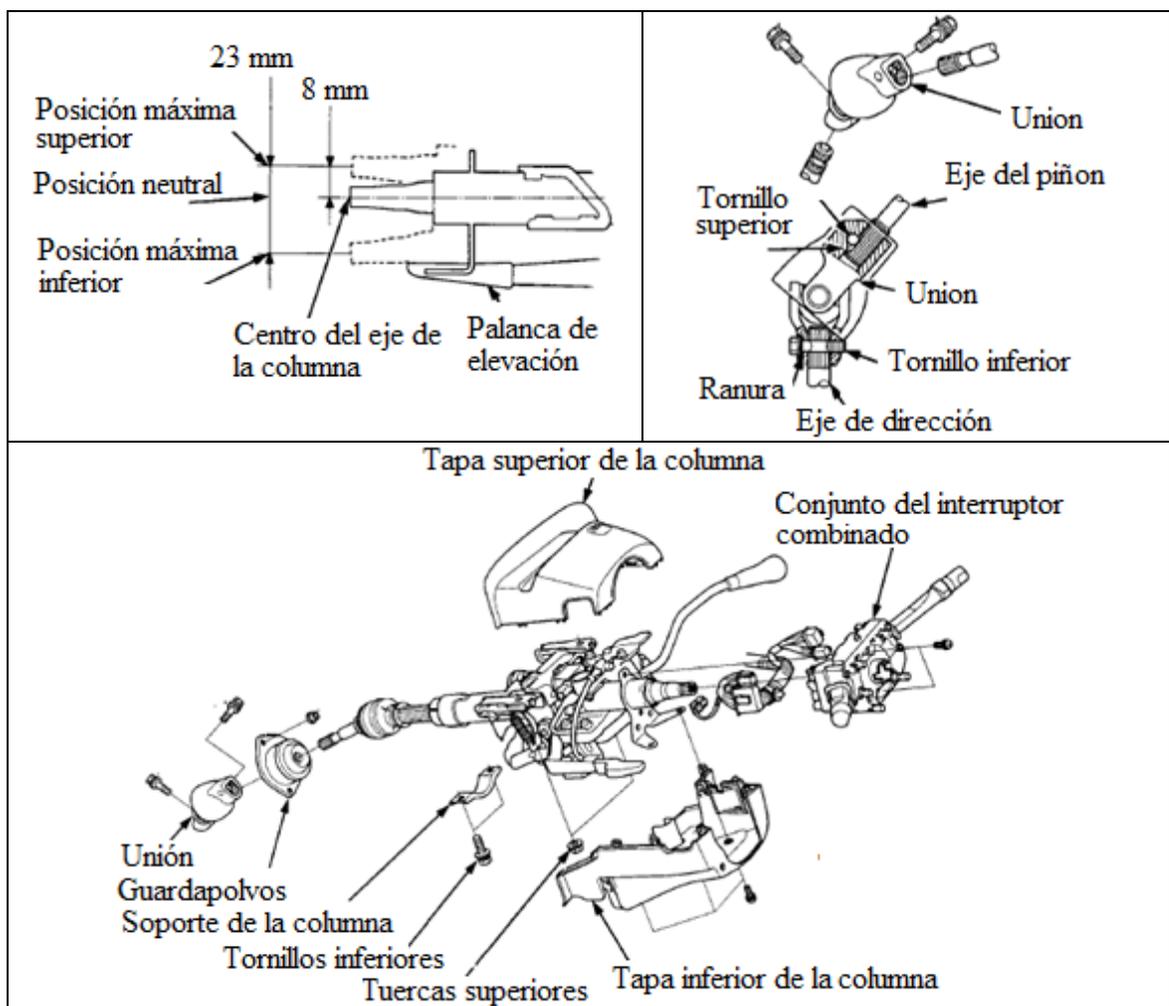


Fig. 8. Columna de Dirección

Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

¹² Eduardo Águeda Casado, José Martín Navarro, Tomás Gómez Morales - Sistemas de transmisión de fuerza y trenes de rodaje, Edición 2012, P 382.

1.5.3 Cañerías de la dirección asistida.

Compuesta por la manguera de alimentación, la misma que hace conexión entre el depósito y la bomba de dirección hidráulica, delante de ella se encuentra la tubería de alta presión que va desde la bomba de dirección hasta la válvula distribuidora.

De la válvula reguladora se dirigen dos cañerías hasta el cilindro de doble efecto, por último está la cañería de retorno que transporta fluido al depósito, en la cañería de alta presión se tiene un interruptor el mismo que se abre a medida que se incrementa la presión, ver Fig. 9.

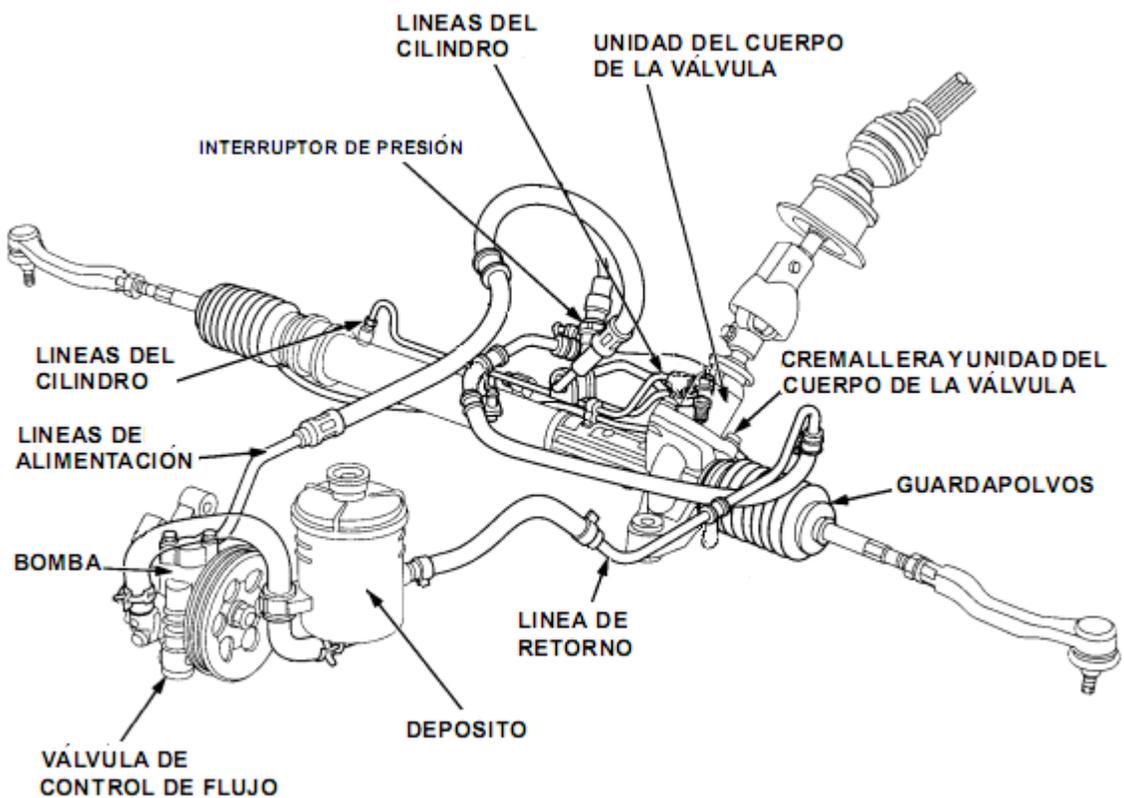


Fig. 9. Tubos y Manguitos de la Dirección Asistida
Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

1.6 FUNCIONAMIENTO DE LA DIRECCIÓN HIDRÁULICA.¹³

La asistencia en el sistema de dirección hidráulica en el vehículo Honda CR-V del año 1998, comienza por la impulsión del aceite hidráulico por parte de la bomba de paletas, y la regulación del caudal y presión por la válvula de control que se encuentra integrada en la bomba.

El fluido hidráulico es dirigida a través de la cañería de alta presión hasta la válvula de mando, que se encarga de direccionar este flujo hacia uno u otro lado de la cara del pistón, para de esta forma reducir la fuerza que el conductor debe aplicar sobre el volante, ver Fig. 10.

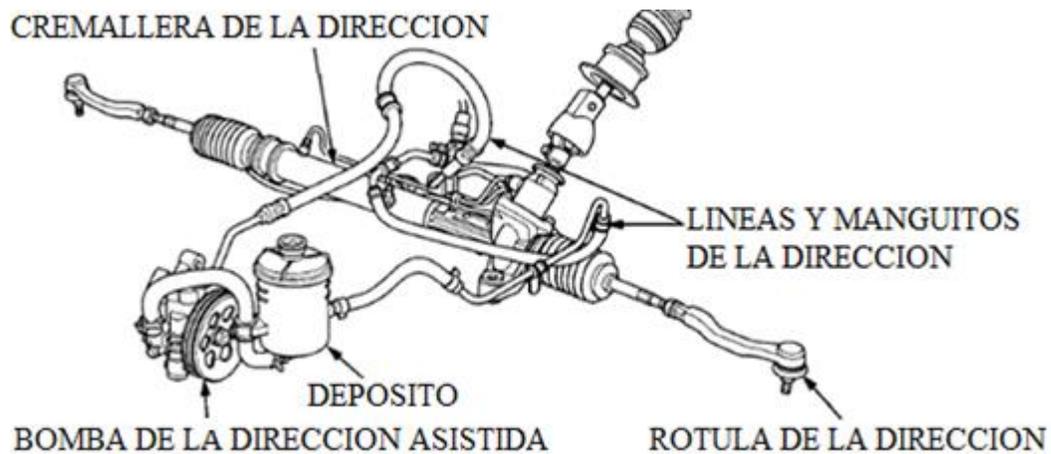


Fig. 10. Componentes de la Dirección Asistida Hidráulica de Cremallera
Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

1.6.1 Bomba de dirección hidráulica.¹⁴

La bomba de paletas es tipo equilibrada, posee un anillo cuyo perfil interno es ovalado, en su parte interna va montado el rotor con sus respectivas paletas que es solidario al eje de la bomba, tapadas por unas plácalas laterales, todo este conjunto va encerrado dentro de una carcasa formando un sistema estanco.

¹³ Jesús Calvo Martín - Mecánica del automóvil, Edición 1997, P 175.

¹⁴ Daniel Czekaj - Aplicaciones de la ingeniería: Maquinaria hidráulica en embarcaciones, Edición 1988, P 6, P7.

En la carcasa se encuentra la válvula de control de flujo y los respectivos conductos de alimentación y de salida de aceite hidráulico, ver Fig. 11

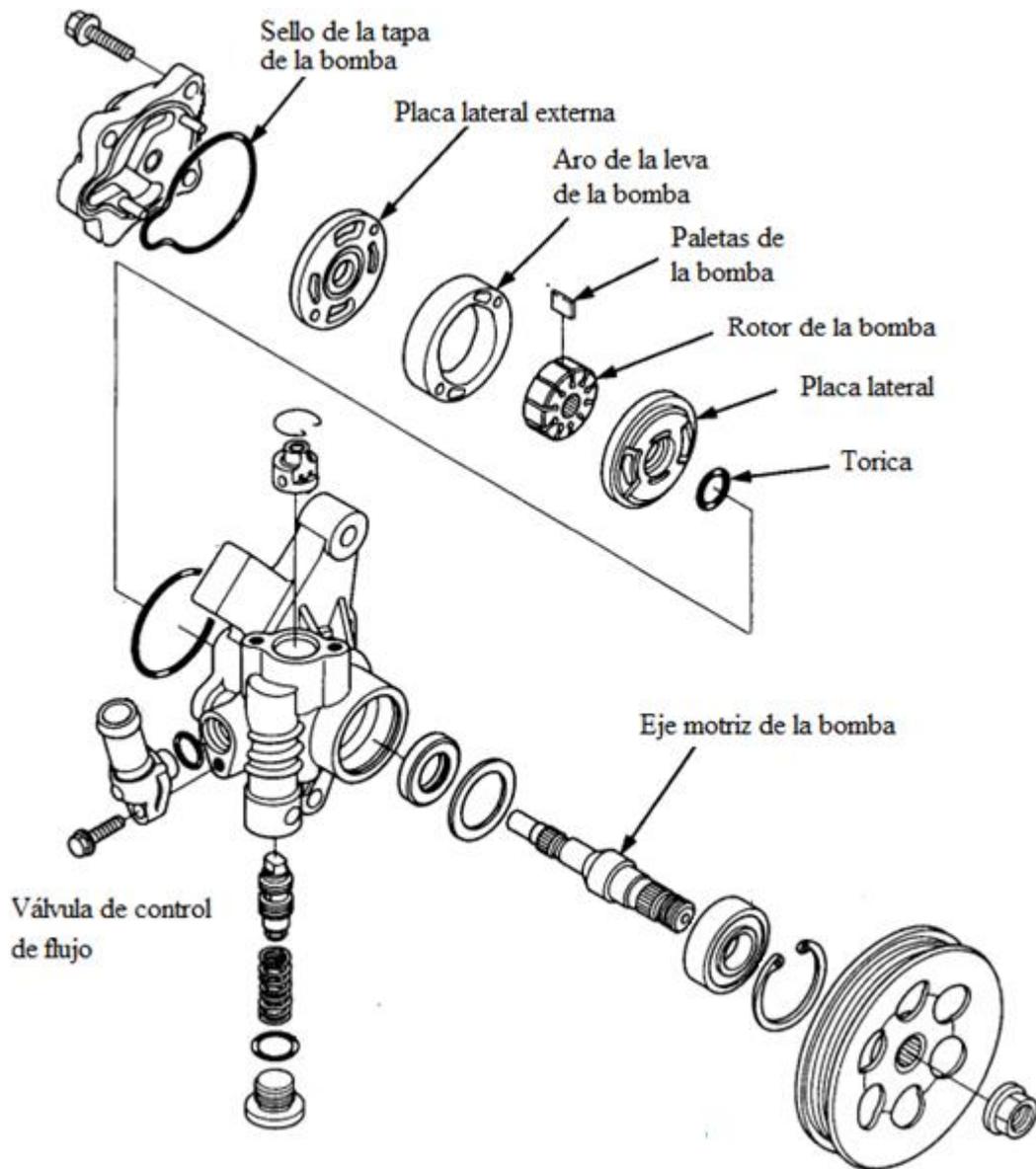


Fig. 11. Componentes de la Bomba de Paletas Equilibrada
Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

Al encender el motor de combustión interna inicia la asistencia hidráulica dado que este transmite el movimiento a la bomba mediante un sistema de banda y poleas, la polea gira solidaria con el eje motriz de la bomba y rotor, por lo que este movimiento hace que las paletas salgan de su alojamiento por la acción de la fuerza centrífuga.

Gracias a este efecto se forman dos cámaras de admisión y dos de impulsión constituidas entre el rotor, las paletas y el anillo ovalado, el rotor al seguir girando va comprimiendo el aceite debido a la forma de este anillo que reduce el volumen del aceite de una manera progresiva hasta salir por la cámara de impulsión.

En ralenti la presión es de 15 bares y la máxima presión esta alrededor de los 78 bares, cabe indicar que la presión se genera por la restricción que tiene el flujo de aceite a la circulación por el sistema, ver Fig. 12.

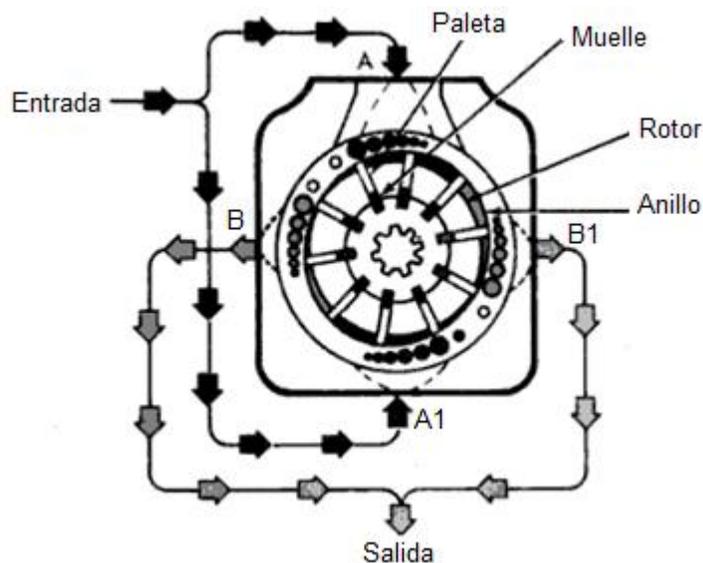


Fig. 12. Bomba de Paletas Compensada.

Fuente: Daniel Czekaj - Aplicaciones de la ingeniería: Maquinaria hidráulica en embarcaciones, Edición 1988, P7

1.6.2 Regulador de caudal y presión.^{15, 16}

El regulador de caudal y presión se encuentra ubicado en la misma bomba, entre la entrada y la salida del aceite hidráulico, está conformada por una válvula de control de flujo y otra de alivio.

Las válvulas que conforman el circuito de control de flujo, entran en funcionamiento en el caso de existir un exceso de caudal y presión, haciendo retornar este exceso de fluido

¹⁵ J. M. Alonso Pérez - Técnicas Del Automóvil. CHASIS, Edición 2008, P 481.

¹⁶ Tomás González Bautista, Benjamin Torres, Gonzalo del Río, José Tena, Tomás González - Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección, Edición 2008, P 433.

a la entrada de la bomba y manteniendo una presión casi constante para el sistema de dirección.

Para que el caudal excesivo retorne debe vencer la fuerza que ejerce el muelle tarado sobre la válvula de pistón, entonces cuando existe más caudal del normal, el líquido empuja la válvula de pistón y se abre paso para dirigirse hacia la entrada de la bomba, ver Fig. 13.

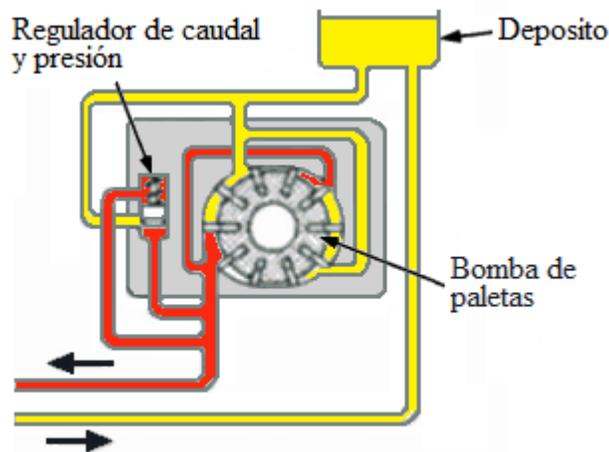


Fig. 13. Válvula de Control de Flujo

Fuente: Karl-Heinz Dietsche - Bosch: Manual de la Técnica Del Automóvil, Edición 2005, P 791.

La válvula de alivio se encarga de mantener una presión casi constante de 7,8 Megapascal [MPa] a la salida de la bomba, esta válvula está constituida por un muelle calibrado, una bola de retención, una válvula de alivio, arandelas y de un asiento cónico.

Su funcionamiento se basa en el hecho de que cuando el muelle detecta más presión de la normal, este se comprime por la acción de la fuerza que se ejerce sobre la válvula de alivio y la esfera de retención, la misma que al ser separada de su asiento cónico permite la derivación de una cierta cantidad de aceite hacia la entrada de la bomba, regulando la presión en el circuito hidráulico de la dirección, ver Fig. 14.

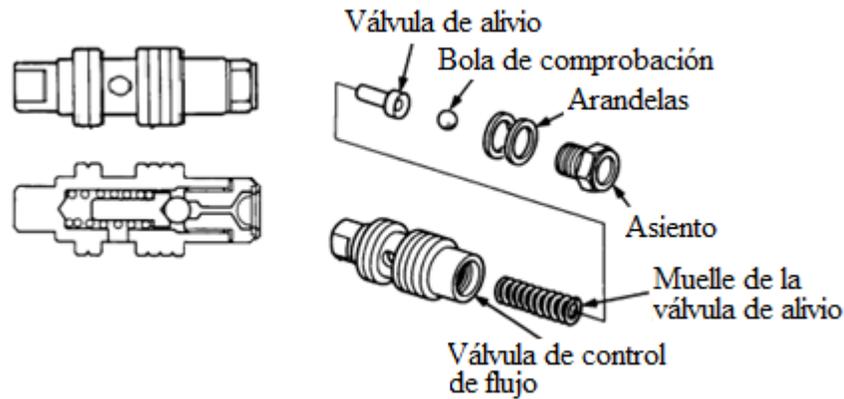


Fig. 14. Válvula De Reguladora de Presión.
Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

1.6.3 Válvula de mando.^{17, 18}

La válvula de mando es una válvula rotativa de cuatro vías con tres posiciones, como se observa en la Fig. 15, la presión generada por la bomba llega hasta la válvula de mando a través de la cañería de alta presión.

Para entender el funcionamiento de la válvula de mando vale mencionar, que la columna de la dirección se encuentra unida al eje de mando de dicha válvula mediante una junta cardánica, en la parte inferior del eje de mando posee un piñón que engrana en la cremallera, según la posición que se le dé al volante se tiene los siguientes funcionamientos.

Volante en línea recta.- La válvula de mando deja pasar el aceite a cada una de las caras del embolo por lo que las presiones a cada lado son las mismas, en este caso no se tiene ninguna asistencia.

Giro del volante.- La válvula de mando distribuirá el aceite a presión por la cañería C ó por la cañería D, ver Fig. 15 (según el sentido de giro que se le dé al volante) hacia uno de los lados del émbolo.

¹⁷ José Font Mezquita, Juan F Dols Ruiz - Tratado sobre automóviles, Edición 2004, P 519, P 520.

¹⁸ Tomás González Bautista, Benjamin Torres, Gonzalo del Río, José Tena, Tomás González - Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección, Edición 2008, P 437, P 438.

Esta presión que se ejerce sobre una de las caras del pistón, ayuda a que el desplazamiento de la cremallera sea mucho más suave, esto ocurre porque se utiliza la fuerza del conductor y la asistencia hidráulica para mover las ruedas.

Finalmente como es lógico si una parte del cilindro se llena la otra se vacía, para lograr el vaciado el aceite regresa por C o D y cuando estos canales han sincronizado con B se produce el retorno al depósito, ver Fig. 15.

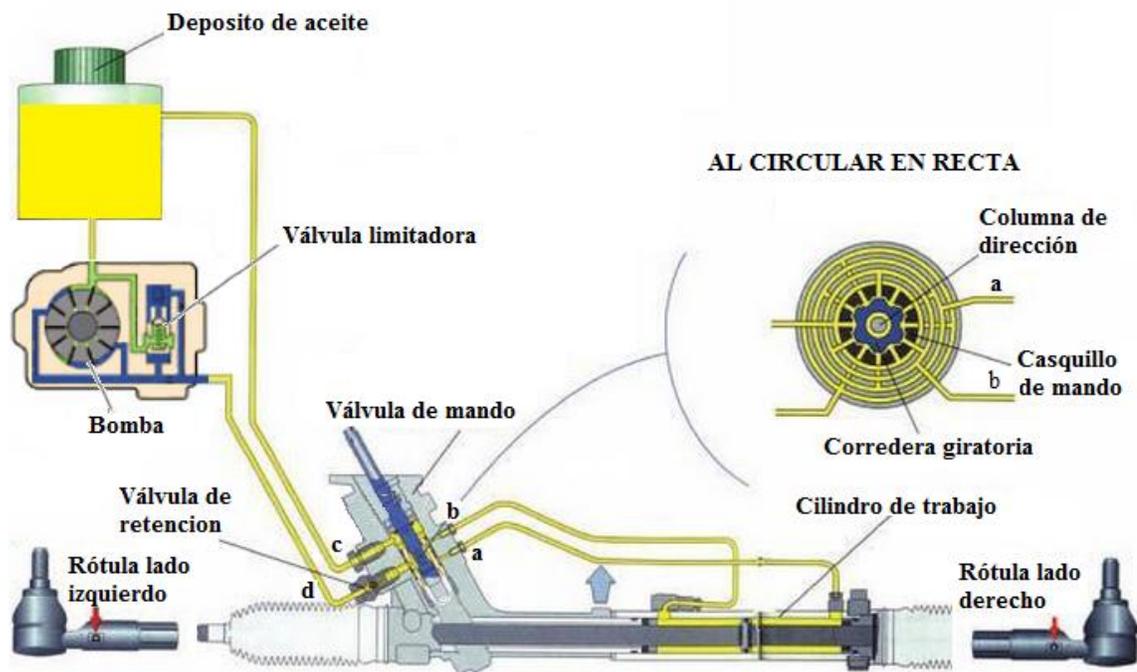


Fig. 15. Dirección Hidráulica de Cremallera, con Distribuidor Giratorio
Fuente: Karl-Heinz Dietsche - Bosch: Manual de la Técnica Del Automóvil, Edición 2005, P 788

Tabla 1. Datos de Funcionamiento de la Dirección.
Fuente: Los Autores.

Posición del volante	Paso de aceite por "d"	Paso de aceite por "c"	Paso de aceite por "a"	Paso de aceite por "b"
Línea Recta	SI	SI	NO	NO
Giro a la derecha	SI	NO	SI	NO
Giro a la izquierda	SI	NO	NO	SI

Nota: Las letras entre comillas se refiere a la Fig. 15.

1.6.4 Cremallera de dirección.¹⁹

La cremallera de dirección con su alojamiento asegura un sistema estanco gracias a unas juntas herméticas ubicadas en los extremos de la cremallera y en el mismo pistón, está constituida por un cilindro de doble efecto que en su parte interna se encuentra un pistón o embolo.

En caso de avería del sistema hidráulico la cremallera de dirección entra a funcionar de forma mecánica, dado que la asistencia no afecta en su parte mecánica, garantizando con esto que no se pierda el control de la dirección, ver Fig. 16.

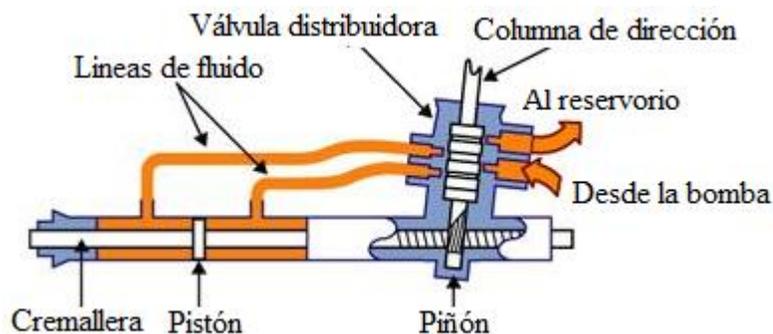


Fig. 16. Cremallera de Dirección

Fuente:

http://www.automotrizmafer.cl/catalogo/servicios/mecanica_automotriz/cajas_direccion_hidraulica/

1.6.5 Volante.²⁰

Este es el encargado de transmitir el giro hacia las ruedas directrices del vehículo por medio de un piñón en contacto con la cremallera, su forma física es redonda, su estructura es metálica recubierta con una goma para proteger la integridad del conductor.

La unión con la columna de la dirección se realiza mediante un estriado cónico en su parte central, en el vehículo Honda CR-V del 98 cuenta con el conjunto del airbag del conductor y del pulsador del claxon, ver Fig. 17.

¹⁹ Tomás González Bautista, Benjamin Torres, Gonzalo del Río, José Tena, Tomás González - Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección, Edición 2008, P 435, P 436.

²⁰ Eduardo Águeda Casado, José Martín Navarro, Tomás Gómez Morales - Sistemas de transmisión de fuerza y trenes de rodaje, Edición 2012, P 382.

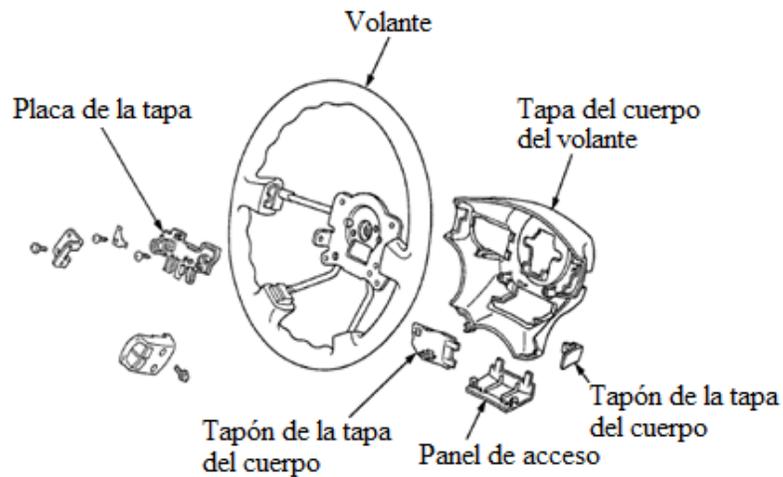


Fig. 17. Despiece y Montaje del Volante
Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

1.6.5.1 Airbag.^{21, 22}

El airbag (SRS, Sistema de Retención Suplementario), es un elemento de seguridad pasiva encargado de reducir o impedir lesiones, en el caso de que el conductor sufra un impacto frontal con el volante.

Cabe indicar que este tipo de seguridad debe de ir acompañada siempre con la utilización del cinturón de seguridad para reducir en lo posible las lesiones, ver Fig. 18.



Fig. 18. Airbag Volante
Fuente: <http://eltamiz.com/2008/06/26/inventos-ingeniosos-el-airbag/>

²¹ Jesús Calvo Martín - Mecánica del automóvil, Edición 1997, P 214, P 215.

²² <http://eltamiz.com/2008/06/26/inventos-ingeniosos-el-airbag/>

1.6.6 Columna de la dirección.

Este transmite el movimiento del volante al mecanismo de dirección, realizando una desmultiplicación de giro y una multiplicación de fuerza necesaria para orientar las ruedas. Esta constituida por tubos y ejes unidos entre si por medio de juntas cardan y de una guía de absorción.²³

Las juntas cardan permiten realizar cambios de dirección en el eje de giro, son utilizadas para dar una cierta inclinación al volante, en este caso es de 8mm hacia arriba y de 15 mm hacia abajo, también sirve de unión entre el eje de dirección y el eje inferior de la dirección, ver Fig. 19.

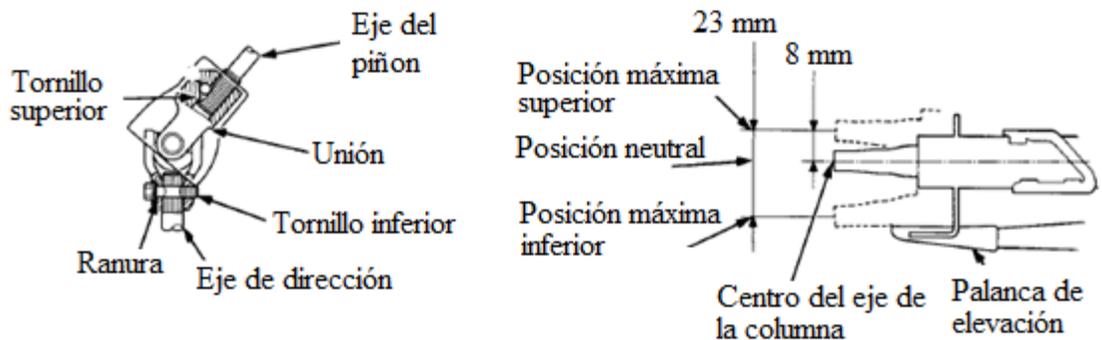


Fig. 19. Columna de Dirección
Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

La guía de absorción se retrae en caso de una colisión, es decir la columna disminuirá de longitud cuando el conductor choque contra el volante, amortiguando el impacto, es un elemento de seguridad pasiva²⁴, ver Fig. 20.

²³ José Font Mezquita, Juan F Dols Ruiz - Tratado sobre automóviles: TOMO I, Edición 2004, P 488.

²⁴ Albert Martí Parera – Sistemas de Seguridad y Confort en Vehículos Automóviles, Edición 2000, P 24, P 25.

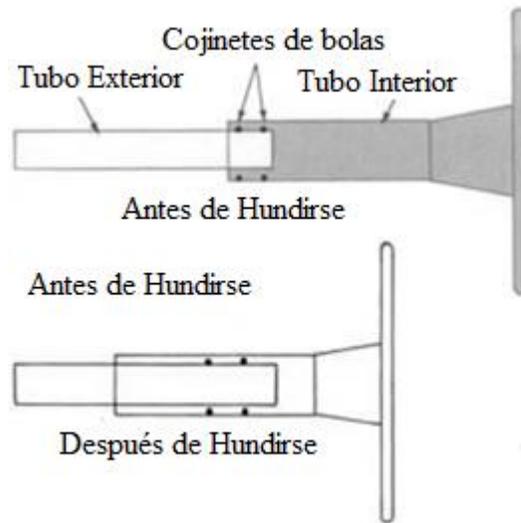


Fig. 20. Guía de Absorción

Fuente: William Harry Crouse - Mecánica del automóvil, Edición 1993, P 779

En la columna de dirección se alojan los siguientes mecanismos:

- Conjunto del interruptor combinado
- Interruptor de encendido
- Mecanismo de bloqueo antirrobo.

El Conjunto del interruptor combinado se encuentra ubicado por debajo del volante, la perilla izquierda cuenta con un conmutador giratorio, que conecta los circuitos de posición, las de las luces de cruce.

La inclinación de la perilla permite el cambio de luces altas y bajas, ráfagas de luces altas y la conmutación del circuito de luces direccionales, por su parte la perilla derecha pose dos conmutadores giratorios, el primero es para escoger la velocidad de intermitencia de los limpiaparabrisas frontales y el segundo es para el limpiaparabrisas posterior, ver Fig. 21.



Fig. 21. Interruptor Combinado

Fuente: http://www.mister-auto.es/es/conmutador-en-la-columna-de-direcci-n/bolk-bol-440093_g1563_a999BOL-440093.html

El interruptor de encendido tiene la misión de alimentar con tensión a los diferentes circuitos del vehículo según la posición de la llave, en la posición 0 el sistema se encuentra sin alimentación para los diferentes circuitos, en la posición I es luces de posición, en la posición II es accesorios y en la posición III es arranque, ver Fig. 22.

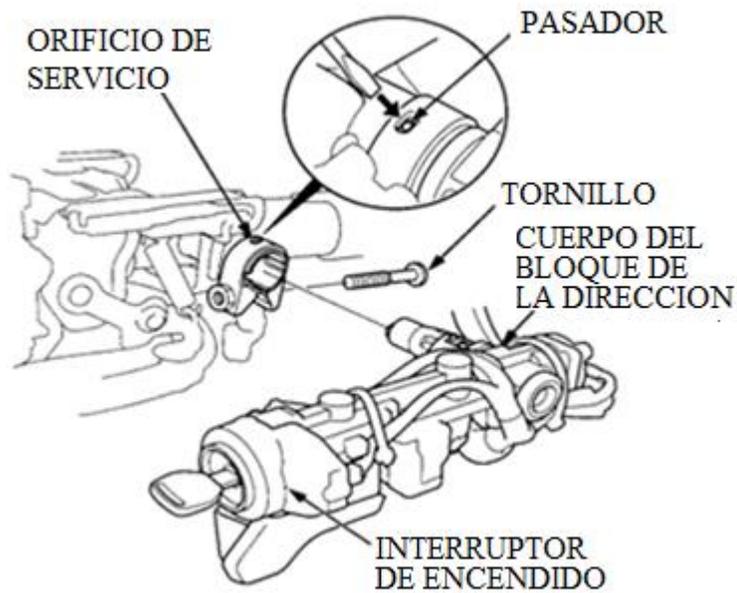


Fig. 22. Interruptor de Encendido y el Mecanismo de Bloqueo

Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

El mecanismo de bloqueo del volante forma parte del interruptor de encendido, este conjunto está montado sobre la columna de la dirección, gracias a esta disposición se puede realizar el bloqueo de la dirección, al cerrar el interruptor de encendido y retirar la llave un piñón de engrane libera un pequeño eje que se enclava en un disco dentado solidario a la columna de la dirección, ver Fig. 23.²⁵

Enclavamiento del volante de dirección y del sistema de encendido combinado en vista translúcida, en que se muestra las dos posiciones del enclavamiento (General Motor Corporation.).

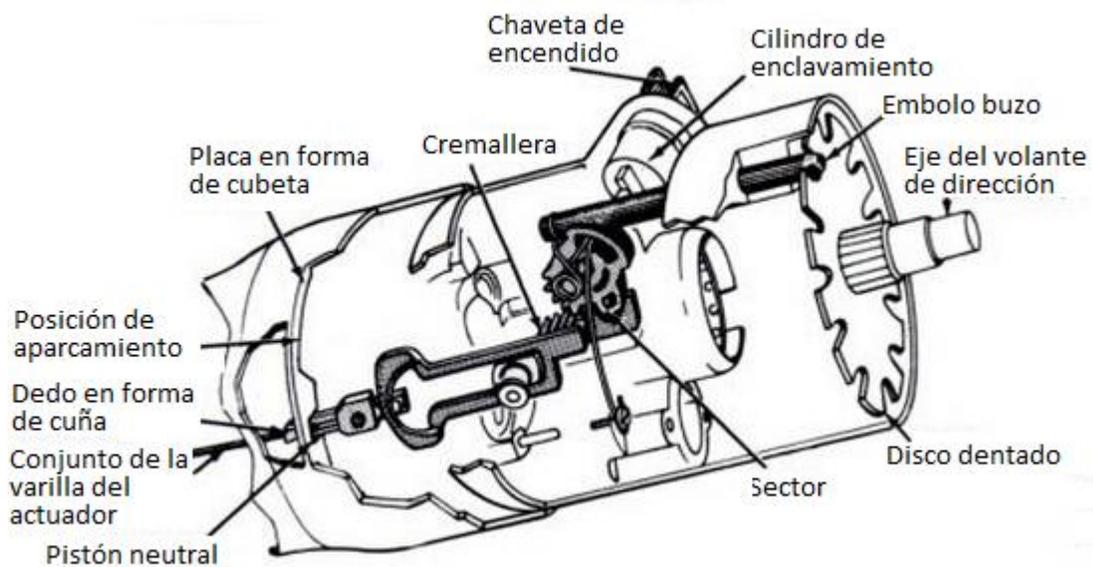


Fig. 23. Enclavamiento del Volante de Dirección
 Fuente: William Harry Crouse - Mecánica del automóvil, Edición 1993, P 433

²⁵ William Harry Crouse - Mecánica del automóvil, Edición 1993, P 433.

CAPITULO II

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO PARA EL COMANDO DE LA DIRECCIÓN HIDRÁULICA.

2.1 INTRODUCCIÓN.

El diseño del control electrónico para el comando de la dirección hidráulica, se basa en la utilización de las señales del sensor de velocidad del vehículo y del sensor de ángulo de giro de la dirección.

Las señales antes mencionadas son introducidas en un microcontrolador, para que mediante programación las procese y establezca los parámetros con los que se debe accionar la electroválvula (Actuador del sistema de control), que es la encargada de variar la presión en el sistema de dirección del vehículo.

2.2 GENERALIDADES.

La necesidad de tener una asistencia variable en la dirección, es debido a que con la dirección hidráulica se mejora notablemente el confort en la conducción, pero al estar el vehículo a altas velocidades se tiene inseguridad e imprecisión al conducir, dado que el volante se vuelve muy blando y el conductor pierde sensibilidad sobre él.

Para dar solución a esta problemática se tomara en cuenta a la electrónica aplicada al área automotriz, ya que esta permite mejorar la eficiencia del sistema de dirección gracias a que la asistencia hidráulica es optimizada. Para utilizar adecuadamente la asistencia, lo que se hace es emplear la misma en los momentos que se la requiera, es decir a baja velocidad la asistencia es del 100%, y a alta velocidad la asistencia es del 0%.

Con esto se logra que a baja velocidad la dirección sea suave y confortable, mientras que a alta velocidad la dirección se vuelve más rígida dando más control al conductor, evitando así accidentes graves.

2.3 DISEÑO DEL CONTROL ELECTRÓNICO PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE DIRECCIÓN HIDRÁULICA.

Para un mayor entendimiento del diseño electrónico, el mismo que controla el sistema de dirección hidráulica, se inicia este punto dando la definición de los sensores, sus tipos, campos de aplicación entre otros aspectos.

Se debe tomar también en cuenta al microcontrolador que es el encargado de interpretar las señales de los sensores antes mencionados y generar la señal de activación (PWM, Modulación de Ancho de Pulso), esta señal comanda la electroválvula del sistema de control.

2.3.1 Descripción de los Sensores.

Los sensores son dispositivos que transforman una magnitud física, o química, considerando perturbaciones, en una magnitud eléctrica que posteriormente puede ser procesada. La magnitud eléctrica puede ser analógica o digital dependiendo del tipo de sensor, ver Fig. 24.²⁶

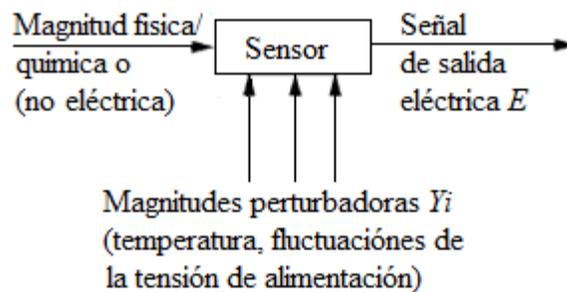


Fig. 24. Función Básica de un Sensor
Fuente: Erich Zabler - Los sensores en el automóvil, Edición 2002, P 4

²⁶ Erich Zabler - Los sensores en el automóvil, Edición 2002, P 4.

2.3.2 Clasificación de los sensores.²⁷

Los sensores de los automóviles se clasifican en tres categorías, que son las siguientes:

- Sensores funcionales, destinados principalmente a tareas de mando y regulación.
- Sensores para fines de seguridad y aseguramiento (protección antirrobo).
- Sensores para la vigilancia del vehículo (diagnóstico de abordaje, magnitudes de consumo y desgaste) y para la información del conductor y de los pasajeros.

Tomando en cuenta la clasificación antes mencionada, los sensores más utilizados para desarrollar el control del sistema de dirección son los destinados a las tareas de mando y regulación, por lo que estos deben cumplir con las exigencias que se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Exigencias Principales Impuestas a los Sensores
Fuente: Erich Zabler - Los sensores en el automóvil, Edición 2002, P 7

SENSORES EN EL AUTOMOVIL	
Exigencias	Medidas de desarrollo
Alta fiabilidad	Técnica robusta y probada
Bajos costes de fabricación	Fabricación racional en grandes series
Duras condiciones de funcionamiento	Encapsulamiento resistente
Compactibilidad	Tecnologías de miniaturización

2.3.3 Sensores empleados en sistemas de dirección con asistencia variable.^{28, 29, 30}

Los sensores que se usan para lograr la asistencia variable de la dirección son los siguientes:

²⁷ Erich Zabler - Los sensores en el automóvil, Edición 2002, P 5, P 6.

²⁸ <http://www.aficionadosalamecanica.net/direccion-asistencia-variable.htm>.

²⁹ Tomás González Bautista, Benjamin Torres, Gonzalo del Río, José Tena, Tomás González - Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección, Edición 2008, P 428.

³⁰ Eduardo Águeda Casado, José Martín Navarro, Tomás Gómez Morales - Sistemas de transmisión de fuerza y trenes de rodaje, Edición 2012, P415.

- Sensor de velocidad del vehículo.
- Sensor de ángulo de la dirección.
- Sensor de par de dirección.

A continuación se realiza una breve descripción de cada uno de estos sensores.

2.3.3.1 Sensor de velocidad del vehículo.

El sensor de velocidad del vehículo sirve para que el módulo de control del sistema de dirección determine la velocidad del vehículo y realice los cálculos necesarios para determinar el grado de asistencia adecuada, ya que a velocidades altas la dirección se vuelve muy blanda.³¹

A una velocidad pequeña el grado de asistencia debe ser grande y conforme vaya aumentando la velocidad este grado de asistencia debe de ir disminuyendo, endureciendo la dirección, ganando seguridad y confort en la conducción.

2.3.3.2 Sensores de ángulo del volante de dirección.

El sensor de ángulo del volante es utilizado por la unidad de control para determinar el grado de asistencia, este sensor proporciona tanto información de posición como de velocidad de giro, a mayor velocidad de giro mayor es la asistencia.³¹

En la dirección con gestión electrónica, la misión de éste sensor es mantener la trayectoria del vehículo prescrita por el conductor mediante intervenciones adecuadas en los frenos.³²

2.3.3.3 Sensor de Par de la Dirección.

El sensor de torque de la dirección determina el esfuerzo que se realiza sobre el volante de la dirección, dependiendo de la velocidad del vehículo y de la fricción de los

³¹ Eduardo Águeda Casado, José Martín Navarro, Tomás Gómez Morales - Sistemas de transmisión de fuerza y trenes de rodaje, Edición 2012, P 417.

³² Erich Zabler - Los sensores en el automóvil, Edición 2002, P 34.

neumáticos con el suelo, con este sensor se varía el esfuerzo que se aplica al volante en todas las circunstancias de conducción.³³

En los sistemas con asistencia variable este sensor viene ubicado en la columna de dirección para que la detección del par sea exacta, por lo que resulta complicado adaptar un sensor como este a un vehículo que no lo tenga, ver Fig. 25 y Fig. 26.



Fig. 25. Sistema de Dirección Hidráulica con Asistencia Variable
Fuente: <http://wds.spaghetticoder.org/spa/zinfo/FB-320001-F06.htm>

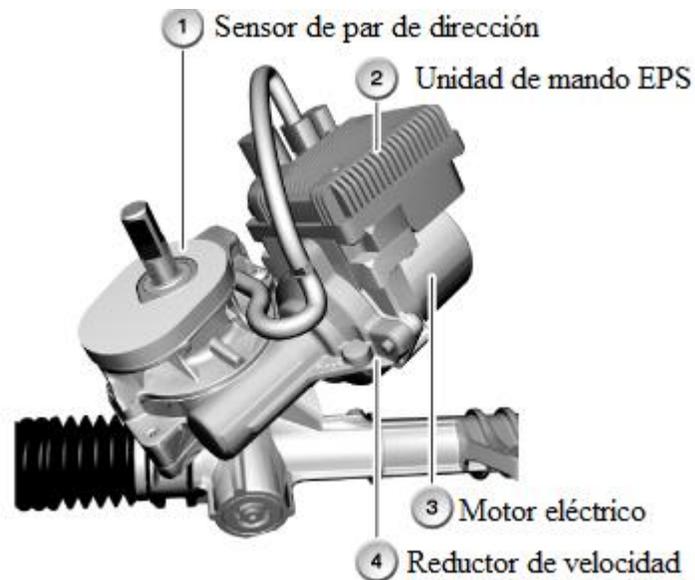


Fig. 26. Sistema de Dirección Eléctrica
Fuente: <http://wds.spaghetticoder.org/spa/zinfo/FB-320002-F06.htm>

³³ Eduardo Águeda Casado, José Martín Navarro, Tomás Gómez Morales - Sistemas de transmisión de fuerza y trenes de rodaje, Edición 2012, P 422, P 423.

2.3.4 Sensores destinados para el diseño de control electrónico del sistema de dirección hidráulica del vehículo Honda CRV.

El diseño se realiza tomando en cuenta la siguiente finalidad:

Con una velocidad de 0 a 15Km/h la asistencia es del 100%, con una de 15 a 40Km/h la asistencia disminuye de forma progresiva, hasta que después de los 40km/h la asistencia es de 0%.

Con un giro ligero del volante de dirección y una velocidad menor a 15Km/h asistencia del 100%, con las ruedas totalmente giradas o volante en los topes y velocidad menor a 15Km/h la asistencia es de 0%.

Para lograr los objetivos planteados se utilizan los sensores de velocidad y ángulo de giro de dirección, que permiten que el microcontrolador detecte todos los parámetros antes mencionados, a continuación se da a conocer los sensores empleados en el diseño.

2.3.4.1 Sensor de ángulo de giro para el vehículo Honda C-RV.

Los ángulos de giro de dirección son medidos mediante un potenciómetro multivuelta de precisión, estos potenciómetros son usados para brindar datos de posición absoluta de una forma analógica como valores de resistencia o voltaje, por lo que son muy habituales midiendo posición de ángulo de giro de dirección.³⁴

Los potenciómetros son de fácil entendimiento en cuanto a su funcionamiento, muy económicos por lo que su aplicación es extensiva, sabiendo esto se hace uso del mismo para realizar el diseño del Sensor de ángulo de giro de dirección.

2.3.4.1.1 Sensor potenciómetro multivuelta para la dirección.

Este sensor basa su funcionamiento en el movimiento de una escobilla, sobre una pista resistiva que de acuerdo a la posición de la misma varía su valor óhmico, ver Fig. 27.³⁴

³⁴ http://www.tecnoficio.com/electricidad/servosistemas.php?psps_page=4.

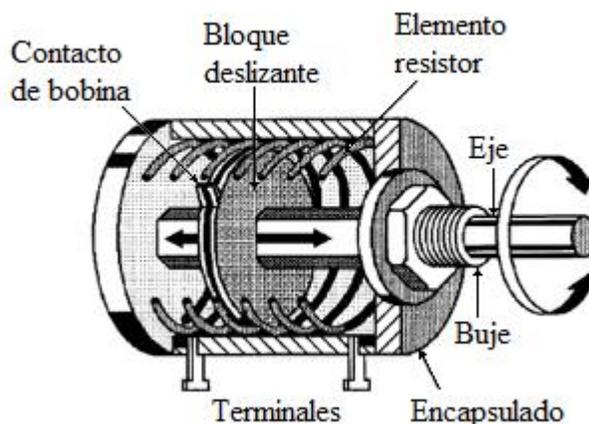


Fig. 27. Potenciómetro Multivuelta de Precisión
 Fuente: http://www.tecnoficio.com/electricidad/servosistemas.php?psps_page=4

Tabla 3. Ventajas y Desventajas del Sensor Potenciómetro
 Fuente: Erich Zabler - Los sensores en el automóvil, Edición 2002, P 13

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Estructura sencilla, fácil de comprender	Desgaste mecánico, abrasión
Margen de medición elevado tanto en recorrido como en tensión a utilizar	Errores de medición a causa de restos de abrasión
No se requiere electrónica de adaptación	Problemas en caso de utilizarlo dentro de un liquido
Buena resistencia a tensiones parasitas	Miniaturización limitada
Amplia gama de temperaturas de funcionamiento	Producción de ruido
Alta precisión	Variación de la resistencia de contacto entre escobilla y pista de medición

2.3.4.2 Sensor de velocidad del vehículo Honda C-RV.

Este sensor de velocidad es óptico, el mismo que está constituido de un emisor de luz infrarroja y de un transistor receptor de dicha luz, un disco ranurado unido a un eje que gira por la ayuda de un piñón que se encuentra en contacto con el piñón del eje de salida de la caja de cambios, el disco ranurado es el encargado de ir interrumpiendo la luz

infrarroja que recepta el transistor, de esta forma se genera una señal digital. Cuando el transistor recibe la luz infrarroja se da la conducción eléctrica a través de este, y si la luz es cortada la señal se cierra a masa, ver fig. 28.³⁵

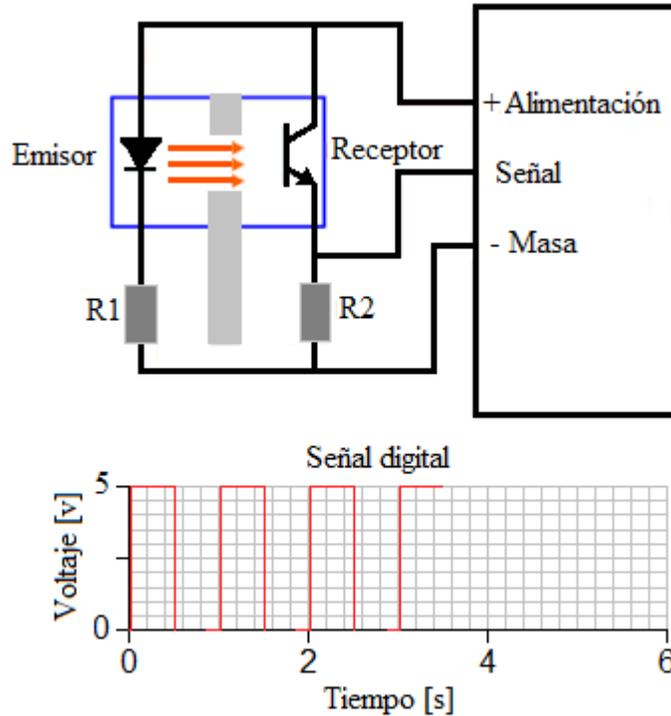


Fig. 28. Esquema del Sensor Óptico
Fuente: Los Autores

2.3.5 Sensor para detectar la presión en el sistema de la dirección hidráulica.

El sensor va a dar la medida de presión del sistema de dirección hidráulica en todo momento, para de esta forma saber en qué instantes genera presión máxima la bomba de dirección hidráulica y de acuerdo a esto saber cuándo activar la electroválvula.

2.3.5.1 Sensor de Presión.³⁶

El sensor de presión que se utiliza en el diseño de control de dirección hidráulica, se lo implementa con el fin de observar en un visualizador de cristal líquido (LCD) la presión

³⁵ J. A. Somolinos Sánchez - Avances en robótica y visión por computador, Edición 2002, P 64.

³⁶ Ramón Pallás Areny - Sensores y acondicionadores de señal, Edición 2003, P 60.

controlada y de esta manera evitar funcionamientos anormales, es decir con lecturas fuera de las escalas, se afirmara que el sistema implementado esta averiado.

La aplicación general de los sensores de presión es para medir las presiones relativas y absolutas en líquidos o gases. El dispositivo de medición puede ser un elemento piezoresistivo o un medidor de tensión de película delgada.

En este tipo de sensor se produce una modificación de la resistencia del material conductor o semiconductor, cuando este es sometido a una deformación mecánica, de esta forma la presión se convierte en una señal eléctrica, ver Fig. 29.



Fig. 29. Sensor de Presión

Fuente: <http://www.jumo.es/productos/presi%C3%B3n/2942/transductor.html>

2.4 ESTRUCTURA DEL CONTROL ELECTRÓNICO DE LA DIRECCIÓN HIDRÁULICA.

La estructura para realizar el control electrónico, está fundamentada en la utilización de las señales de sensores, que en este diseño es el VSS y del sensor de ángulo de giro de dirección, sensores que dan las señales de entrada para el sistema de control de la dirección hidráulica.

Las señales de los sensores anteriormente mencionados deben ser digitales, al existir señales analógicas de los sensores, estas deben pasar por un convertidor A/D, este es un proceso en el cual las señales analógicas son transformadas en digitales para que puedan ser procesadas por el microcontrolador.

Después viene el procesamiento de las señales, este trabajo lo realiza el microcontrolador, el mismo que requiere una alimentación con corriente continua de 5V y por ultimo está la activación de la electroválvula, mediante un ancho de pulso (PWM) que es la señal de salida del sistema de control, esta señal de activación varía en función de los parámetros de las señales de entrada, ver Fig. 30.

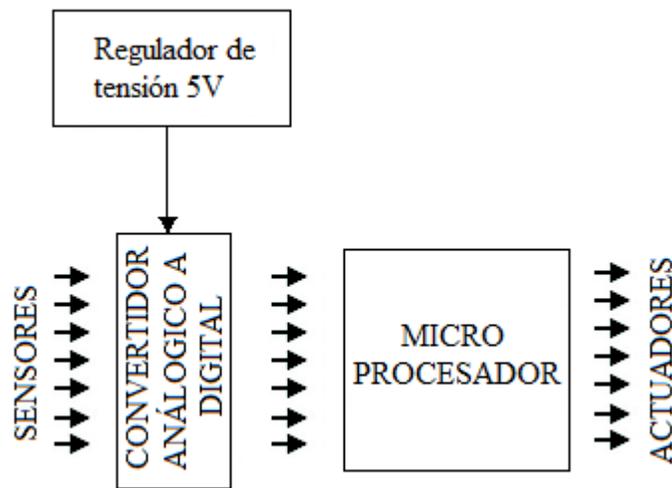


Fig. 30. Estructura del Control Electrónico
Fuente: Los Autores

2.5 TOMA DE SEÑALES DE LOS SENORES.

Para realizar la toma de señales, lo primero que se hace es identificar la ubicación en el vehículo de los sensores a utilizar, posterior a ello con la ayuda de un osciloscopio para aplicación automotriz, se adquiere la forma de onda de cada uno de los sensores, ver Fig. 31.



Fig. 31. Osciloscopio OTC
Fuente: Los autores

A continuación se da a conocer paso a paso el proceso de toma de señal de cada uno de los sensores a utilizar en el sistema de control de la dirección.

2.5.1 Toma de la Señal del Sensor de Velocidad.

Para tomar la señal del VSS se identifica cuáles son los cables que corresponden a masa y señal del sensor, esto se realiza colocando el switch de encendido en la posición de ON y con la ayuda del manual del fabricante del vehículo.

Una vez identificados los cables de señal y masa del sensor utilizamos las puntas de prueba del osciloscopio, hacemos contacto con los cables mencionados para que el osciloscopio detecte la señal, ver Fig. 32.

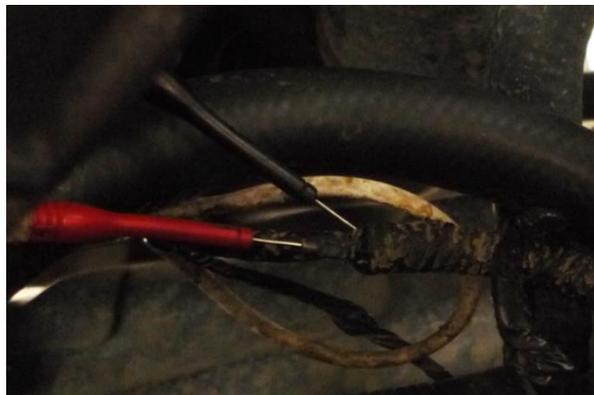


Fig. 32. Toma de Señal Sensor VSS
Fuente: Los Autores.

Con el osciloscopio en la opción scope se puede visualizar la forma de onda de éste sensor, esto se realiza con el vehículo en movimiento, dado que la señal es generada en estas condiciones, para simular ésta situación se coloca al vehículo en el puente elevador, ver Fig. 33.

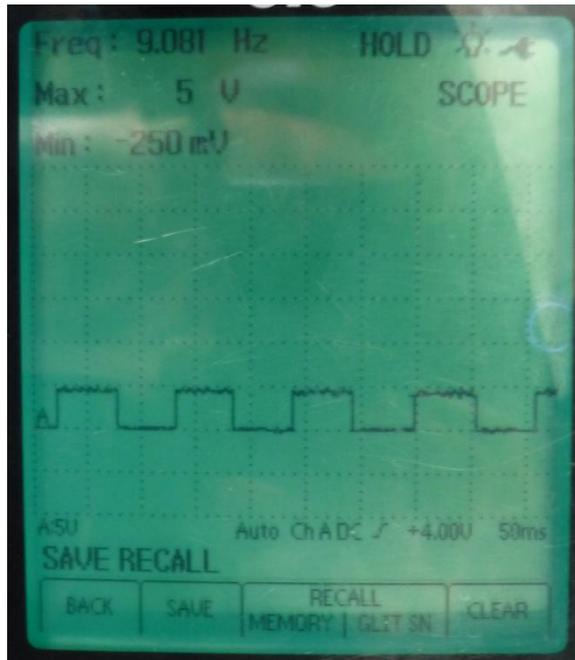


Fig. 33. Señal Sensor VSS
Fuente: Los Autores

La señal obtenida es una señal digital por lo tanto esta se puede ingresar directamente al microcontrolador sin necesidad de una conversión A/D.

2.5.1.1 Datos de frecuencia del sensor VSS a diferente velocidad

La adquisición de datos del sensor VSS a diferentes velocidades, se hace mediante pruebas de carretera, utilizando el microcontrolador al que se le programa para que los datos puedan ser observados en un visualizador LCD. En la Tabla 4 se ven los resultados.

Tabla 4. Velocidad Vs Frecuencia
Fuente: Los Autores

VELOCIDAD (km/h)	FRECUENCIA (Hz)
10	15934
20	8654
30	6087
40	4532
50	3584
60	3085

2.5.1.2 Determinación de la ecuación Velocidad vs Frecuencia.

Con los datos de la tabla 4 se procede a realizar un ajuste de curvas para obtener la ecuación de la velocidad, la ecuación es introducida en el microcontrolador para realizar las restricciones correspondientes, tomando en cuenta el análisis de dispersión, la ecuación que mejor se ajusta es una potencial, ver Fig. 34.

En el ajuste de la curva se usa una línea de tendencia potencial, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9988$, que indica la bondad del ajuste de la curva, siendo los valores cercanos a 1 un ajuste perfecto y los cercanos a 0 indica inexistencia de relación entre x e y.

El coeficiente R^2 viene dado por la relación entre la varianza de los datos explicada con el modelo y la varianza de los datos experimentales.

$$R^2 = \frac{\sum_i^N (Y_i^{cal} - \bar{Y})^2}{\sum_i^N (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Donde \bar{Y} representa el valor medio de los valores de la variable independiente e Y_i^{cal} los valores calculados para cada punto usando el modelo ajustado a los datos.³⁷

³⁷ <http://iqc.udg.es/~perico/docencia/QTC/ajustes.pdf>

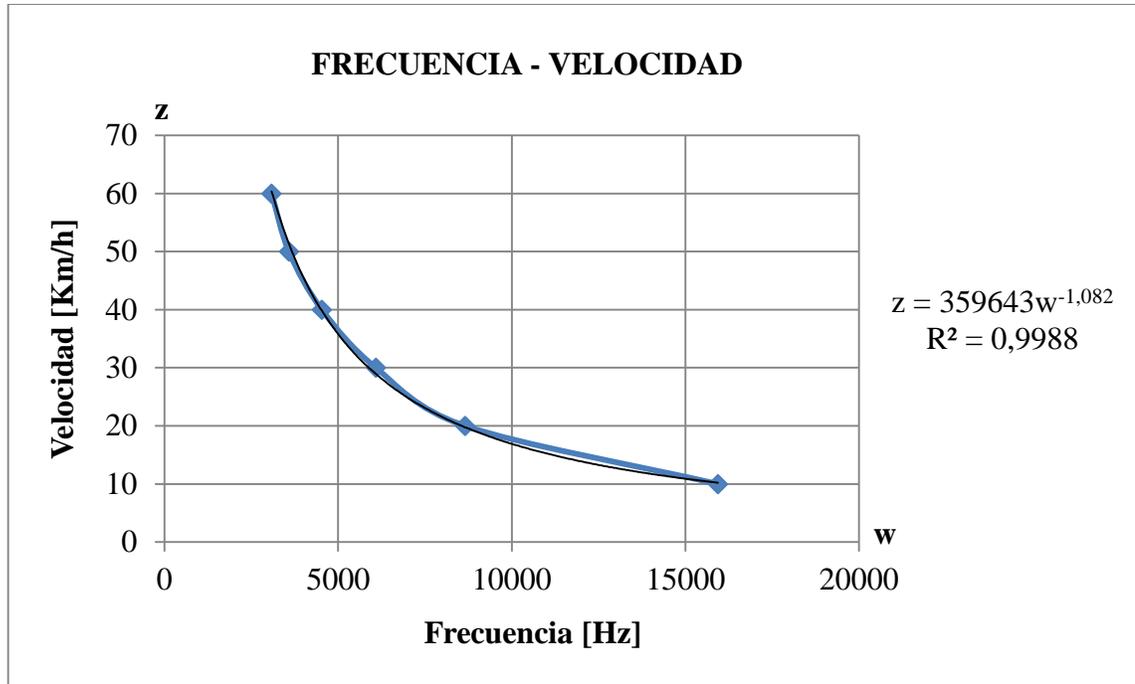


Fig. 34. Recta de Velocidad vs Frecuencia
Fuente: Los Autores

2.5.2 Señal del sensor de ángulo de giro.

Tomando en consideración que el vehículo en el cual se va a realizar el control electrónico no cuenta con sensor de ángulo de giro de dirección, lo primero que se realiza es el diseño y construcción del mismo, para después continuar con el proceso de toma de señal, medición y ajuste de la curva.

2.5.2.1 Dispositivo a utilizar para la medición del ángulo de giro de dirección

Para la medición del ángulo de giro se emplea un potenciómetro multivuelta, este es eficaz midiendo ángulos de giro, ya que al variar su resistencia varía también el voltaje dando como resultado un cierto valor de tensión para cada posición del volante.

Se selecciona el potenciómetro multivuelta de 5 KΩ considerando que la sensibilidad en la medición es más precisa, el mismo que tiene un rango de giro de 10 vueltas, por ende es más que suficiente para detectar las tres vueltas que se tiene en el volante, ver Fig. 35.



Fig. 35. Potenciómetro Multivuelta

Fuente: http://www.tme.eu/es/katalog/potenciom-de-alambre-de-varias-revol_100024/

2.5.2.2 Obtención de datos de voltaje del sensor de ángulo de giro.

Una vez instalado el sensor de ángulo de giro de dirección, se procede a tomar la señal del mismo, colocando los puntales del multímetro en los pines de señal y masa del potenciómetro multivuelta, la variación del voltaje de alimentación se da al girar el volante, ver Fig. 36.



Fig. 36. Toma de señal del Sensor de Giro de la Dirección

Fuente: Los Autores

Los datos obtenidos y medidos son cada 90° de giro del volante, ver Tabla 5.

Tabla 5. Valores de Ángulo de Giro a la Izquierda
Fuente: Los Autores

VALORES DE GIRO A LA IZQUIERDA			
Ángulo de giro (°)	Voltaje (v)	Valor decimal del sensor giro	Valor decimal para activar la electroválvula
-610	3.535	181	255
-540	3.437	175	218
-450	3.319	169	182
-360	3.182	162	145
-270	3.056	155	109
-180	2.932	149	72
-90	2.808	143	36
0	2.68	136	0
VALORES DE GIRO A LA DERECHA			
0	2.68	136	0
90	2.554	130	36
180	2.429	123	72
270	2.304	117	109
360	2.175	110	145
450	2.046	104	182
540	1.925	98	218
550	1.902	97	255

2.5.2.3 Obtención de la ecuación para la activar la electroválvula del sistema de control.

En la programación se ocupa las siguientes declaraciones de variable que son modelos para la representación de datos elementales sobre nivel de máquina, ver Tabla 6.

Tabla 6. Datos Elementales Sobre Nivel De La Máquina
Fuente: Los Autores

Tipo	Tamaño	Rango (valor en decimal)
bit	1-bit	0 o 1
sbit	1-bit	0 o 1
byte, char	8-bit	0...255
short	8-bit	-128..127
word	16-bit	0..65535
integer	16-bit	-32768..32767
longword	32-bit	0...4294967295
longint	32-bit	-2147483648...2147483647
float	32-bit	$\pm 1.17549435082 \cdot 10^{-38} \dots \pm 6.80564774407 \cdot 10^{38}$

La ecuación de activación de la electroválvula del sistema de control es determinada, en función del giro del volante de dirección, es necesario realizar la conversión de los valores de voltaje a valores digitales para el microcontrolador.

Primero se procede a convertir la señal del sensor de ángulo de giro en una variable digital de 8 bit, esto se lo realiza dando al valor de 0 voltios un valor decimal de 0 y a un valor de 5 voltios un valor decimal de 255, después se procede a determinar una ecuación que relacione estos valores, ver Tabla 5.

$$\text{Valor decimal del sensor de giro} = (\text{voltaje del sensor de giro} * 255) / 5$$

Una vez realizada esta conversión se procede a obtener los valores decimales que sirven para determinar el ancho de pulso (PWM) de activación de la electroválvula del sistema de control, esto se consigue dando un valor de 0 decimal cuando el volante se encuentra en línea recta y de un valor decimal de 255 en los giros máximos del volante de la dirección, esto son datos que se utilizan en la programación del microcontrolador, la cual se explica más adelante, ver Tabla 5.

Una vez que se determina los valores decimales del sensor de giro y de los valores decimales para la activación de la electroválvula se procede a realizar el ajuste de la curva.

En el ajuste de la curva de giro hacia la izquierda se usa una línea de tendencia lineal, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9991$, que da un ajuste adecuado para su análisis, ver Fig. 37.

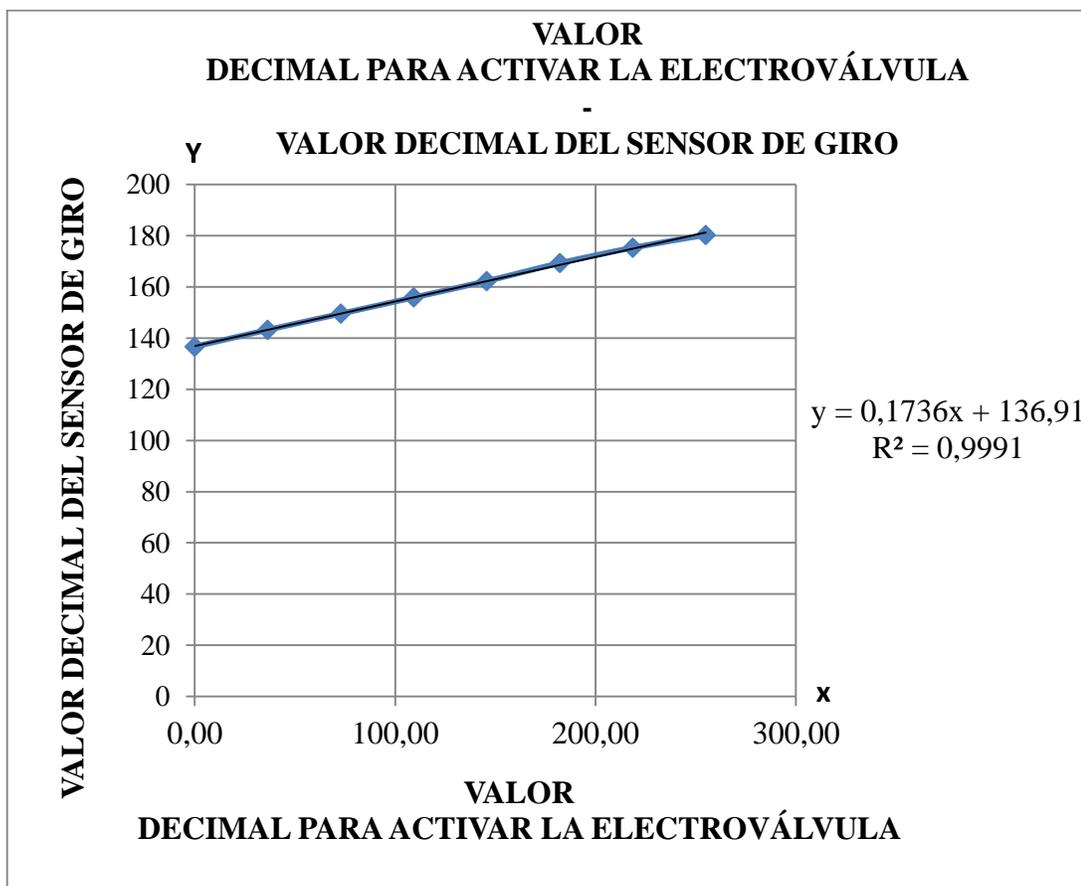


Fig. 37. Ecuación de Giro a la Izquierda
Fuente: Los Autores

En el ajuste de la curva de giro hacia la derecha se usa una línea de tendencia lineal, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9991$, que da un ajuste adecuado para su análisis, ver Fig. 38.

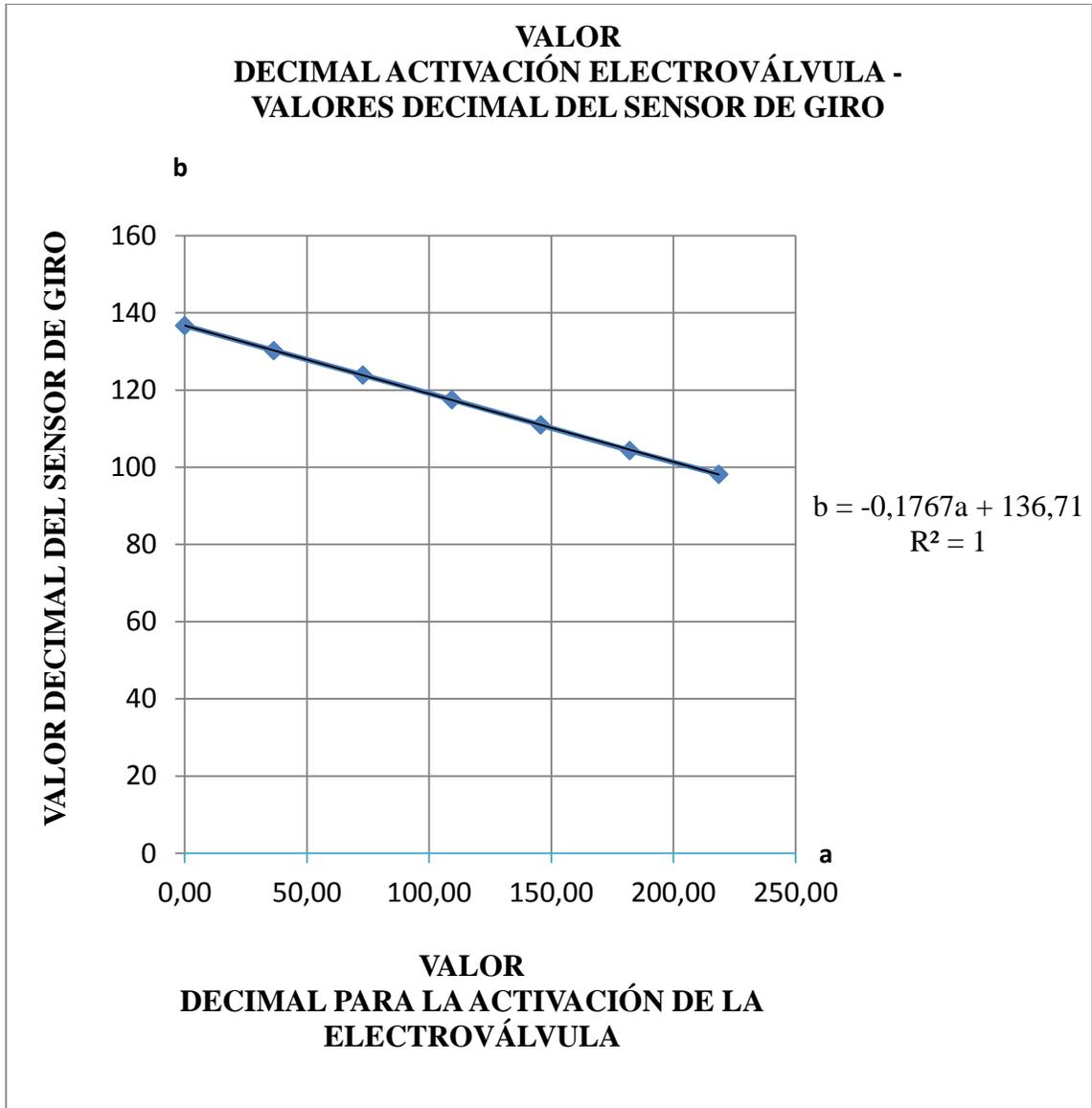


Fig. 38. Ecuación de Giro a la Derecha
Fuente: Los Autores

Tomando en cuenta la dispersión, la ecuación que mejor se ajusta es una lineal, una vez determinada las ecuaciones las mismas se introducen en el microcontrolador para que esta genere la señal de activación (PWM) de la electroválvula del sistema de control.

2.5.3 Señal del sensor de revoluciones del motor (CKP Cranshaft Position Sensor).

La señal del sensor CKP se utiliza para ser observada en el visualizador LCD y saber en todo momento las revoluciones del motor, cabe recalcar en que esta señal no se utiliza en el sistema de control.

Para visualizar la señal del CKP en el osciloscopio, lo primero es localizar el pin de señal y masa del sensor CKP, esto se realiza consultando el manual del fabricante del vehículo, ver Fig. 39.

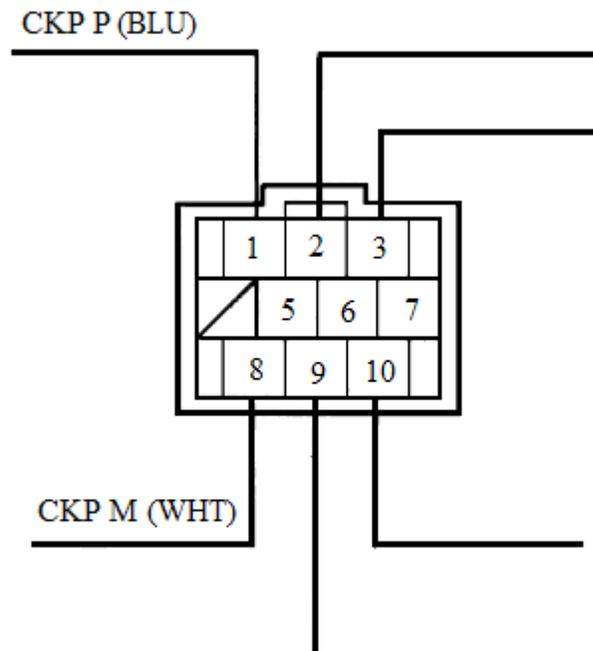


Fig. 39. Pines del CKP
Fuente: Manual Honda CRV 1998

Mediante la información de la Fig. 41 se coloca el puntal rojo en el cable de color azul (BLU) debido a que este es señal del sensor, mientras que el puntal negro a masa o en el cable blanco (WHT), con el osciloscopio en la función scope se visualiza la señal del CKP, ver Fig. 40.

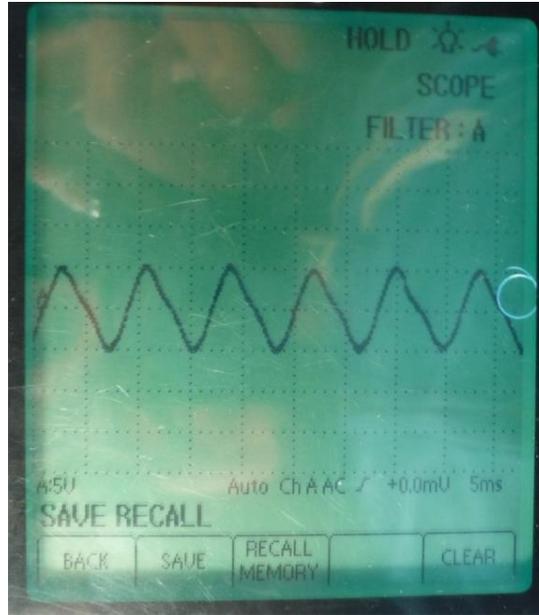


Fig. 40. Señal del CKP
Fuente: Los Autores

2.5.3.1 Adquisición de datos de frecuencia del sensor de revoluciones del motor.

Para este sensor lo que varía es la frecuencia al incrementar el régimen de giro del motor, sabido esto se da a conocer en la Tabla 7 los valores de frecuencia correspondientes a cada régimen del motor.

Tabla 7. Frecuencia vs RPM
Fuente: Los Autores

RPM	FRECUENCIA [Hz]
1000	640
1500	430
2000	320
2500	250
3000	210
3500	180
4000	150

2.5.3.2 Determinación de la ecuación del sensor de revoluciones del motor.

Con la ayuda de los datos obtenidos en la Tabla 7, se realiza el ajuste de curva usando una línea de tendencia potencial, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,999$, que da un ajuste adecuado para su análisis, ver Fig. 41.

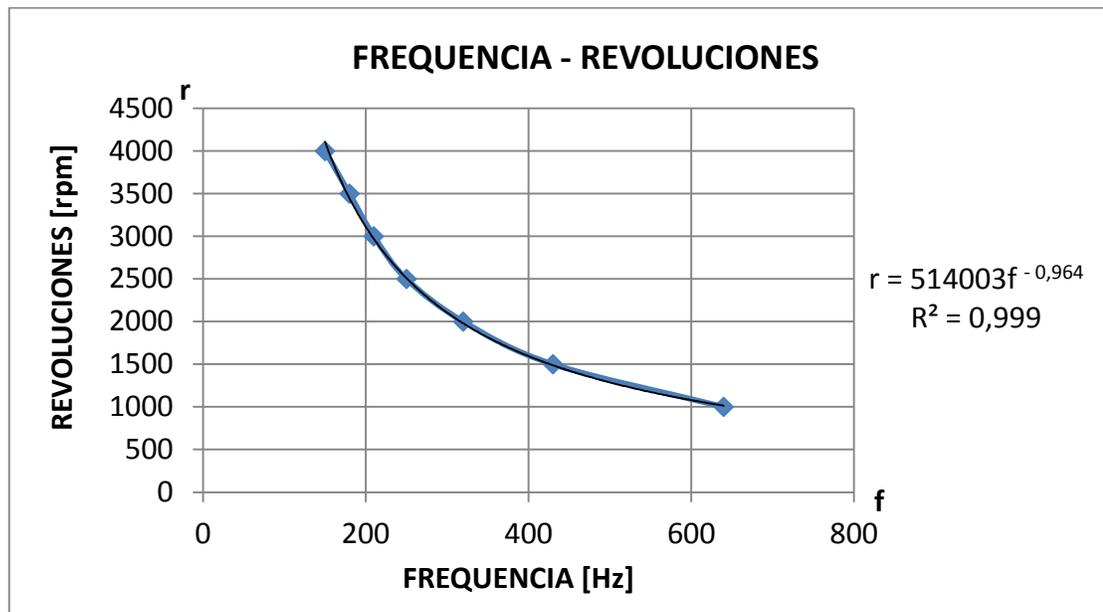


Fig. 41. Señal del CKP
Fuente: Los Autores

2.5.3.3 Adquisición de la ecuación del sensor de presión del sistema de dirección hidráulica.

Para adquirir la ecuación del sensor de presión se utiliza los datos que viene en el manual del mismo, se debe tener en cuenta que la presión del sistema de dirección no llega a 100 bares.

Para determinar los valores decimales con los que trabaja el microcontrolador se realiza la siguiente relación:

Para un valor de 0 voltios se tiene un valor decimal de 0, para un valor de 5 voltios se tiene un valor decimal de 255, después se procede a determinar una ecuación que relacione estos valores, ver Tabla 8.

Valor decimal del sensor de presión = (voltaje del sensor de Presión * 255) / 5

Tabla 8. Voltaje vs Presión
Fuente: Los Autores

Presión (bar)	Voltaje del sensor de presión (V)	Valor decimal del sensor de presión
0	0.5	25,5
25	1.497	76,5
50	2.499	127,5
75	3.503	178,5
100	4.507	229,5

Una vez determinado la relación entre el valor decimal del sensor de presión y la presión correspondiente para dicho valor, se procede a realizar el ajuste de la curva usando una línea de tendencia potencial, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,999$, que da un ajuste adecuado para determinar la ecuación que será introducida en el microcontrolador, ver Fig. 42.

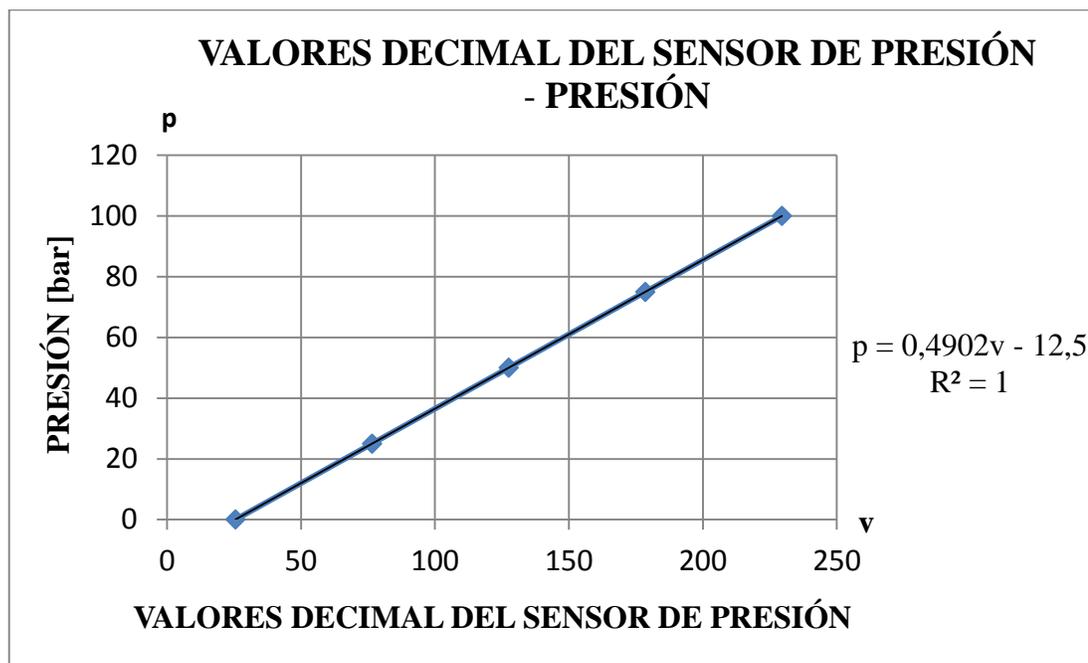


Fig. 42. Ecuación del Sensor de Presión
Fuente: Los Autores

2.6 CONVERTIDOR ANALÓGICO/DIGITAL.

Como se sabe los sensores son dispositivos que transforman una magnitud física o química, en una magnitud eléctrica que puede ser analógica o digital dependiendo del tipo de sensor.

Una señal analógica es aquella en la que su variación es continua en el tiempo, esto quiere decir que su dominio puede ser finito o no finito, y que a cada dominio le corresponde un único valor en el tiempo.³⁸

Por otro lado las señales digitales son discretas en el tiempo, esto quiere decir que para pasar de un estado a otro realiza un salto de estado, estas señales son binarias ya que trabajan en dos estados, en conducción y no conducción, ver Fig. 43.³⁸

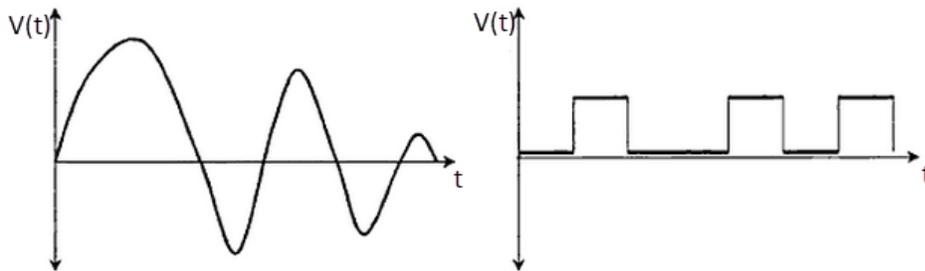


Fig. 43. Forma de una Señal Analógica y Digital
Fuente: L. Gil Sánchez - Introducción a la electrónica digital, Edición 1999, P 11

Si la señal obtenida por los sensores es digital, esta puede ser interpretada por el microcontrolador, pero si dicha señal es analógica esta debe pasar por un proceso de conversión Analógica/Digital para poder ser interpretada por el micro-controlador.

El microcontrolador en el cual se realiza el diseño cuenta con pines que realizan esta conversión, por lo que no es necesario realizar el circuito, debido a esto se toma el pin 2 y 3 que son destinados exclusivamente para esta tarea, para que reciban la señal del sensor de ángulo de giro y del sensor de presión respectivamente.

³⁸ L. Gil Sánchez - Introducción a la electrónica digital, Edición 1999, P 11.

Mientras que para el sensor de rpm (CKP), se utiliza el pin 17, la señal de éste sensor es analógica que varía en frecuencia, por lo que se toma los valores como si fuera una entrada digital, ver Fig. 44.

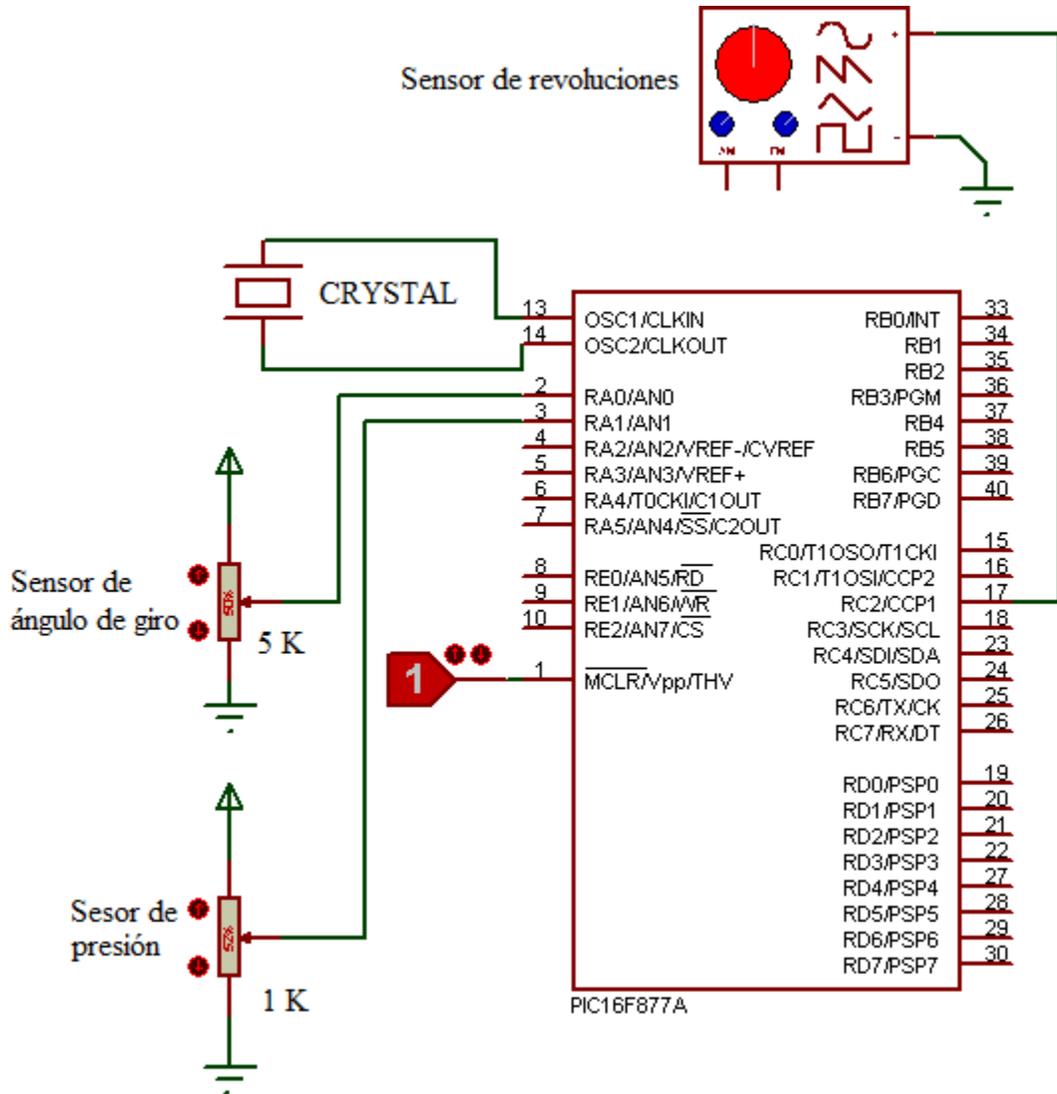


Fig. 44. Conexión de Señales Analógicas
Fuente: Los Autores

2.7 DISEÑO DEL CONTROLADOR.

2.7.1 Elementos básicos de un sistema de control.^{39, 40}

Los elementos básicos en un sistema de control son los indicados a continuación:

Entradas: son todos los datos o señales que entran al sistema de control y provocan una respuesta, estas pueden ser:

- **Entradas de mando o de control:** Son señales externas que imponen órdenes al sistema de control.
- **Entradas de referencias o consigna:** Es una señal conocida del sistema, es la llamada retroalimentación y sirve para estabilizar el sistema de control.
- **Entradas perturbadoras:** Estas señales son provocadas por incitaciones externas no deseadas.

Salidas: Es la señal obtenida por el sistema de control.

Planta o Proceso: Es el sistema o proceso que se desea controlar. Está conformado por un conjunto de elementos que interactúan entre sí para cumplir un mismo fin.

Perturbaciones: Son señales no deseadas que se dan fuera o dentro del sistema de control y que alteran el funcionamiento del sistema.

Controlador: Es un dispositivo que procesa la señal de entrada o la diferencia entre la señal de entrada y la señal de salida (retroalimentación), produciendo una señal adecuada para la planta o el proceso.

Actuador: Es un elemento que acondiciona la señal de salida del controlador en una señal apta para el elemento a controlar (planta o proceso).

³⁹ R. P. Ñeco, O Reinoso, N. García, R Aracil - Apuntes de Sistemas de Control, edición 2003, P 5.

⁴⁰ Cecilio Angulo Bahón, Cristóbal Raya Giner - Tecnología de sistemas de control, Edición 2004, P 31, P 32.

Captador: Este dispositivo convierte la señal de salida en otra magnitud adecuada para ser restada del valor de la señal de entrada.

Transductor: Es un elemento que transforma una magnitud física en una señal eléctrica, que es capaz de ser interpretada por el sistema.

2.7.2 Introducción a los sistemas de control.^{41, 42}

Los sistemas de control nos permiten controlar diversos sistemas o procesos para que estos cumplan su objetivo de la manera más eficiente posible, estos sistemas o procesos son un conjunto de elementos que están interrelacionados entre sí para realizar un trabajo deseado a la salida del sistema, en función de datos o señales de entrada.

Cabe indicar que no es importante conocer el funcionamiento interno del sistema o la interrelación de sus elementos, para determinar el tipo de control.

Al tener conocimiento del comportamiento de los datos de salida frente a variaciones de los datos de entrada, permite determinar la respuesta del sistema y de esta manera seleccionar la acción de control adecuada, tomando en cuenta las perturbaciones al sistema, ver Fig. 45.

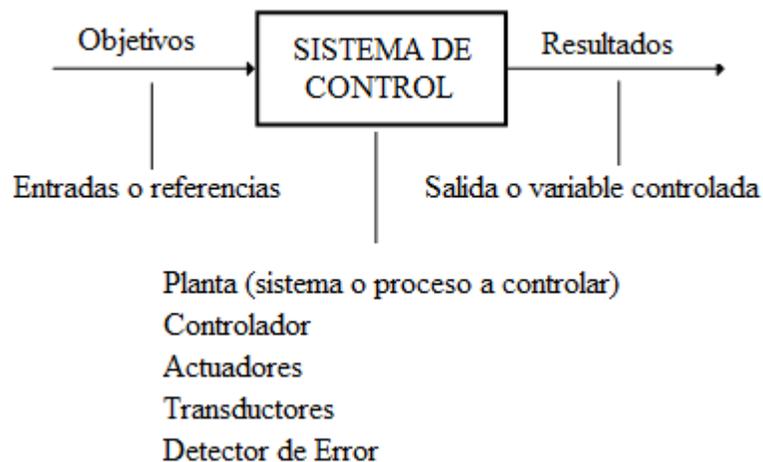


Fig. 45. Diagrama General de un Sistema de Control

Fuente: Gomáriz Castro, Sparteacus - Teoría de control: diseño electrónico, Edición 1998, P 15

⁴¹ Gomáriz Castro, Sparteacus - Teoría de control: diseño electrónico, Edición 1998, P 15.

⁴² Cecilio Angulo Bahón, Cristóbal Raya Giner - Tecnología de sistemas de control, Edición 2004, P 31.

2.8 MICROCONTROLADOR.⁴³

Un microcontrolador es un chip, que en su interior tiene distintos componentes tales como la Unidad Central del Proceso, la memoria RAM y la memoria ROM así como periféricos de entrada y salida, por esta razón tiene la ventaja de utilizar un espacio reducido físicamente y puede ser reprogramado las veces que se requiera.

El microcontrolador cuenta también con convertidor CAD (convertidor analógico a digital), temporizadores, contadores entre otros sistemas que lo hacen mucho más compacto al momento de utilizarlo, con este chip se puede controlar cualquier proceso mecánico, eléctrico o hidráulico, dada su gran versatilidad.

2.8.1 Componentes del Microcontrolador.^{43 44 45}

Los componentes del microcontrolador son los siguientes, ver Fig. 46.

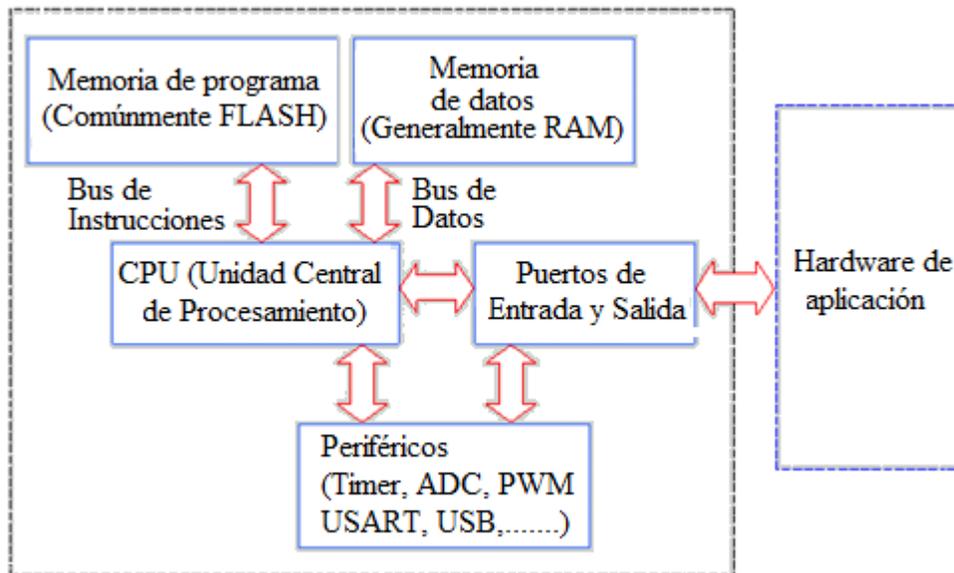


Fig. 46. Estructura del Microcontrolador

Fuente: <http://www.cursomicros.com/pic/microcontroladores/los-microcontroladores.html>

⁴³ Ramón Pallás Areny - Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC, Edición 2007, P 14.

⁴⁴ Eduardo Santamaría - Electrónica Digital y Microprocesadores, Edición 1993, P 257.

⁴⁵ Adolf Fritz - Microelectrónica en el vehículo motorizado, Edición 2002, P 36.

2.8.1.1 Procesador (CPU).^{46, 47, 48}

El procesador es la parte central del microcontrolador, dado que es en donde se procesa todo lo programado, es decir en donde se realizan las instrucciones o restricciones dadas para el control del sistema.

2.8.1.2 Memoria de Programa.^{46,47,48}

La memoria de programa es en donde se almacena las instrucciones de control, cada vez que vayamos modificando la programación se va grabando y guardando los cambios. Los tipos de memoria que dispone el microcontrolador son: La memoria ROM, la memoria EPROM, EEPROM, FLASH y RAM.

- ROM (Read Only Memory): La memoria ROM es una memoria de solo lectura, se puede almacenar todos los datos que se requiera, pero difícilmente se puede modificar.
- EEPROM Y FLASH: Estas memorias son ROM modernas, es decir con una tecnología mucho más avanzada, en este tipo de memorias se puede almacenar datos, se puede modificar pero la programación en esta memoria no es frecuente.
- EPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory): Es una memoria de solo lectura, que es eléctricamente programable y reprogramable.
- RAM (Random Access Memory): Es una memoria de acceso aleatorio, en esta memoria se puede leer y escribir, o lo que es igual se puede programar y modificar sin ningún inconveniente.

⁴⁶ Ramón Pallás Areny - Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC, Edición 2007, P 14.

⁴⁷ Eduardo Santamaría - Electrónica Digital y Microprocesadores, Edición 1993, P 257.

⁴⁸ Adolf Fritz - Microelectrónica en el vehículo motorizado, Edición 2002, P 36.

2.8.1.3 Periferia.^{49, 50, 51}

Mediante la periferia se puede introducir información de sistemas externos y entregar información mediante programación. Los módulos periféricos digitalizan las señales analógicas de entrada o convierten las señales digitales de salida en una señal analógica. Posee unos temporizadores que cuenta pulsos externos o calcula el tiempo entre eventos.

2.8.2 Características del Microcontrolador PIC16F877.

Para dar a conocer las características del microcontrolador PIC16F877 primero es necesario conocer cada uno de los pines, de esta forma utilizarlos de la mejor manera y obtener el máximo provecho ya que del conocimiento que se tenga de las tareas que hace cada pin depende la cantidad de elementos que se utilice para el diseño.

2.8.2.1 Descripción de Pines.

En la tabla 9 se observa la descripción de cada pin y en la Fig. 47 se puede ver su constitución física del microcontrolador.

⁴⁹ Ramón Pallás Areny, Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC, Edición 2007, P 14.

⁵⁰ Eduardo Santamaría, Electrónica Digital y Microprocesadores, Edición 1993, P 257.

⁵¹ Adolf Fritz, Microelectrónica en el vehículo motorizado, Edición 2002, P 36.

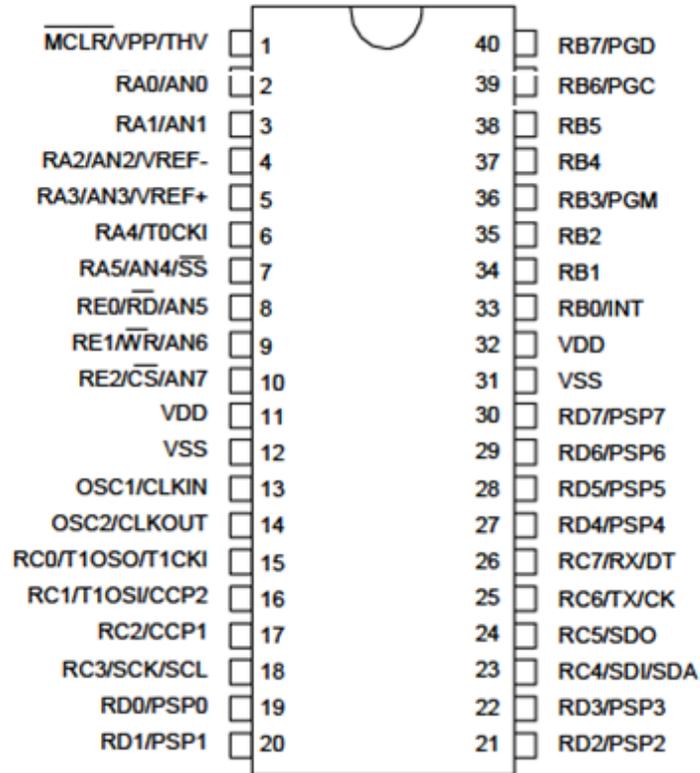


Fig. 47. PIC16F877

Fuente: <http://www.cursomicros.com/pic/microcontroladores/los-microcontroladores.html>

Tabla 9. Descripción de Pines
Fuente: PIC16F87X Data Sheet

NOMBRE DEL PIN	PIN	TIPO	DESCRIPCIÓN
OSC1/CLKIN	13	I	Entrada del oscilador de cristal/Entrada de señal de reloj externa
OSC2/CLKOUT	14	O	Salida del oscilador de cristal
MCLR/V _{pp} /THV	1	I/P	Entrada del Master clear (Reset) o entrada de voltaje de programación o modo de control high voltaje test
RA0/AN0	2	I/O	RA0: puede ser salida analógica 0
RA1/AN1	3	I/O	RA1: puede ser salida analógica 1
RA2/AN2/ Vref-	4	I/O	RA2: puede ser salida analógica 2 o referencia negativa de voltaje
RA3/AN3/Vref+	5	I/O	RA3: puede ser salida analógica 3 o referencia positiva de voltaje
RA4/T0CKI	6	I/O	RA4: puede ser entrada de reloj el timer0.
RA5/SS/AN4	7	I/O	RA5: puede ser salida analógica 4 o esclavo Seleccionado por el puerto serial síncrono.

RBO/INT	33	I/O	RB0 puede ser pin de interrupción externo.
RB1	34	I/O	RB1 Digital I/O
RB2	35	I/O	RB2 Digital I/O
RB3/PGM	36	I/O	RB3: puede ser la entada de programación de
RB4	37	I/O	bajo voltaje
RB5	38	I/O	RB4 Digital I/O
RB6/PGC	39	I/O	RB5 Digital I/O
RB7/PGD	40	I/O	Pin de interrupción. Pin de interrupción.
RCO/T1OSO/T1CKI	15	I/O	RCO puede ser la salida del oscilador timer1 o la
RC1/T1OS1/CCP2	16	I/O	entrada de reloj del timer1
RC2/CCP1	17	I/O	RC1 puede ser la entrada del oscilador timer1 o salida
RC3/SCK/SCL	18	I/O	PMW RC2 puede ser una entrada de captura y comparación o salida PWN
RC4/SD1/SDA	23	I/O	RC3 puede ser la entrada o salida serial de reloj síncrono para modos SPI e I2C
RC5/SD0	24	I/O	RC4 puede ser la entrada de datos SPI y modo I2C
RC6/Tx/CK	25	I/O	RC5 puede ser la salida de datos SPI
RC7/RX/DT	26	I/O	RC6 puede ser el transmisor asíncrono USART o el reloj síncrono. RC7 puede ser el receptor asíncrono USART o datos síncronos
RD0/PSP0	19	I/O	RDO Digital I/O, Puerto esclavo paralelo
RD1/PSP1	20	I/O	RD1 Digital I/O, Puerto esclavo paralelo
RD2/PSP2	21	I/O	RD2 Digital I/O, Puerto esclavo paralelo
RD3/PSP3	22	I/O	RD3 Digital I/O, Puerto esclavo paralelo
RD4/PSP4	27	I/O	RD4 Digital I/O, Puerto esclavo paralelo
RD5/PSP5	28	I/O	RD5 Digital I/O, esclavo paralelo
RD6/PSP6	29	I/O	RD6 Digital I/O, esclavo paralelo
RD7/PSP7	30	I/O	RD7 Digital I/O, esclavo paralelo
REO/RD/AN5	8	I/O	REO: puede ser control de lectura para el puerto esclavo paralelo o entrada analógica 5
RE1/WR/AN	9	I/O	RE1: puede ser escritura de control para el puerto
RE2/CS/AN7	10	I/O	paralelo esclavo o entrada analógica 6 RE2: puede ser el selector de control para el puerto paralelo esclavo o la entrada analógica

			7.
Vss	12 31	P	Referencia de tierra para los pines lógicos y de I/O
Vdd	11 32	P	Fuente positiva para los pines lógicos y de I/O
NC	-	-	No está conectado internamente
Leyenda: I = input O = output I/O = input/output P = power - = Not used ST = Schmitt Trigger input.			

2.8.2.2 Características del PIC 16F877.

En la Tabla 10 se observan todas las características concernientes al PIC 16F877.

Tabla 10. Características PIC 16F877
Fuente: PIC16F87X Data Sheet

CARACTERÍSTICAS	16F877
Frecuencia máxima	DX-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones RAM de datos	368
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Líneas de entrada de CAD de 10 bits	8
Juego de instrucciones	35 Instrucciones
Longitud de la instrucción	14 bits
Arquitectura	Harvard
CPU	Risc
Canales PWM	2
Pila Harware	-
Ejecución En 1 Ciclo Máquina	-

2.8.2.3 Descripción de los puertos.

Los puertos de los microcontroladores PIC son registros de la memoria de dato, estos pueden ser entradas o salidas dependiendo según como se lo requiera, a continuación se da a conocer los registros que posee el PIC 16F877.

Puerto A:

- Puerto de e/s de 6 pines
- RA0 é RA0 y AN0
- RA1 é RA1 y AN1
- RA2 é RA2, AN2 y Vref-
- RA3 é RA3, AN3 y Vref+
- RA4 é RA4 (Salida en colector abierto) y T0CKI(Entrada de reloj del módulo Timer0)
- RA5 é RA5, AN4 y SS (Selección esclavo para el puerto serie síncrono)

Puerto B:

- Puerto e/s 8 pines
- Resistencias pull-up programables
- RB0 é Interrupción externa
- RB4-7 Interrupción por cambio de flanco
- RB5-RB7 y RB3 é programación y debugger in circuit

Puerto C:

- Puerto e/s de 8 pines
- RC0 é RC0, T1OSO (Timer1 salida oscilador) y T1CKI (Entrada de reloj del módulo Timer1).
- RC1-RC2 é PWM/COMP/CAPT
- RC1 é T1OSI (entrada osc timer1)

- RC3-4 é IIC
- RC3-5 é SPI
- RC6-7 é USART

Puerto D:

- Puerto e/s de 8 pines
- Bus de datos en PPS (Puerto paralelo esclavo)
- Puerto E:
- Puerto de e/s de 3 pines
- RE0 é RE0 y AN5 y Read de PPS
- RE1 é RE1 y AN6 y Write de PPS
- RE2 é RE2 y AN7 y CS de PPS

Dispositivos Periféricos:

- Timer0: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler de 8 bits
- Timer1: Temporizador-contador de 16 bits con preescaler que puede incrementarse en modo sleep de forma externa por un cristal/clock.
- Timer2: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler y postescaler.
- Dos módulos de Captura, Comparación, PWM (Modulación de Anchura de Impulsos).
- Conversor A/D de 10 bits.
- Puerto Serie Síncrono Master (MSSP) con SPI e I²C (Master/Slave).
- USART/SCI (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) con 9 bit.
- Puerta Paralela Esclava (PSP) solo en encapsulados con 40 pines

2.8.3 Diagrama de bloques del control electrónico en proteus.

La programación se realiza con dos microcontroladores, en configuración maestro esclavo, el microcontrolador maestro y esclavo son de las mismas características, es

decir un PIC16F877, el microcontrolador esclavo procesa la velocidad del vehículo, y esta información es enviada al microcontrolador maestro.

Esta configuración se realiza tomando en cuenta que la programación debe correr constantemente, esto no se puede realizar con un solo PIC, dado que la señal del sensor de velocidad en los momentos en el que el vehículo se detiene no envía señal de velocidad por no existir movimiento del coche, por lo que el programa se detiene en éstas circunstancias, ver anexo 1.

El microcontrolador maestro es el encargado de recibir las señales del sensor de ángulo de giro de dirección, del CKP, del sensor de presión, además recibe la señal de velocidad que le está enviando el microcontrolador esclavo, el microcontrolador maestro además activa la electroválvula, así como presenta en un visualizador LCD los resultados correspondientes, ver anexo 2.

2.8.4 Pines Utilizados del Microcontrolador Maestro y Esclavo.

Para programar el PIC esclavo se utilizan los siguientes pines, ver Tabla 11.

Tabla 11. Pines del PIC Esclavo
Fuente: Los Autores

MICROCONTROLADOR ESCLAVO	
PIN	DESCRIPCION
1	MCLR (Resset)
13	Pines para el cristal
14	
17	Recibe la señal digital del VSS
26	Envió de señal de velocidad al pin 25 del PIC maestro

Para la programación del PIC maestro se utiliza los siguientes pines, ver Tabla 12.

Tabla 12. Pines del PIC Maestro
Fuente: Los Autores

MICRONCOTROLADOR MAESTRO	
PIN	DESCRIPCION
1	MCLR (Reset)
2	Entradas señales analógicas del sensor de ángulo de giro
3	Entradas señales analógicas del sensor de presión
13	Pines para la conexión del oscilador
14	
17	Entrada de la señal del sensor de revoluciones del motor (CKP)
19	Salida hacia la electroválvula
25	Entrada de la lectura de velocidad
35	Pines que activan la LCD
36	
37	
38	
39	
40	

2.8.5 Accionamiento de la electroválvula mediante modulación de ancho de pulso (PWM).

El PWM es una señal en la que se varía el tiempo útil de una señal digital, su periodo se mantiene constante, lo que se varía es su ciclo útil (Duty Cycle), ósea por cuanto tiempo permanece dicha señal en un estado alto, por lo que a un tiempo alto le corresponde un tiempo útil del 100% y la de un tiempo bajo le corresponde un tiempo útil de 0%. A medida que el ciclo de trabajo aumenta, también se incrementa la potencia entregada por la señal, ver Fig. 48.⁵²

⁵² Users Staff - Microcontroladores, Edición 2011, P 127.

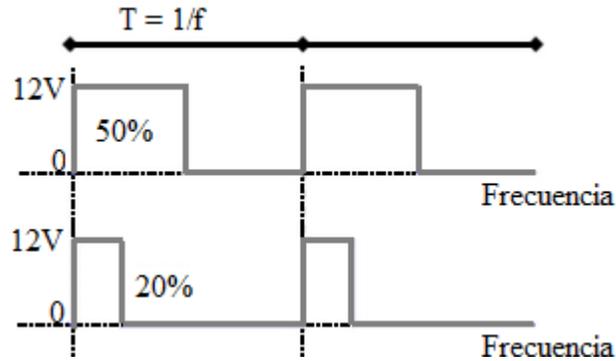


Fig. 48. Señal de Modulación de Ancho de Pulso (PWM)
Fuente: Los Autores

La electroválvula se activa con una señal digital PWM, que es generada por el microcontrolador, la misma que varía el ciclo útil, de esta forma se varía el tiempo de apertura de la electroválvula.

Se usa el pin 19 del microcontrolador, para que sea el encargado de dar la señal de modulación de ancho de pulso (PWM) a la electroválvula.

Cuando la señal del PWM está en alto se da mayor tiempo de apertura a la electroválvula disminuyendo la asistencia del sistema, cuando la señal está en bajo se da menor tiempo de apertura a la electroválvula dejando que todo el caudal vaya hacia el cilindro de doble efecto.

2.8.6 Programación del microcontrolador y restricciones para el control.

La programación del control electrónico se realiza en tres partes:

La primera parte es en donde se insertan las ecuaciones de los sensores obtenidas en punto tratados anteriormente, para de esta forma determinar los valores correspondientes de dichos sensores.

En la segunda parte se da las restricciones del sistema de control mediante bucles, de acuerdo a los requerimientos planteados, es decir el porcentaje de asistencia baja a altas velocidades y viceversa, en tanto que con el ángulo de giro el porcentaje de asistencia sea nulo al girar completamente el volante y con el volante en el centro asistencia total.

La tercera parte es la programación para la generación del PWM, la misma que activa la electroválvula del sistema de control.

2.8.6.1 Programación para que el microcontrolador lea las señales de los sensores.

En esta parte se da a conocer toda la programación, y en qué parte de las líneas de código se insertan las ecuaciones, para que el PIC16F87 pueda saber en todo momento, velocidad, ángulo de giro, régimen de revoluciones del motor y presión del sistema de dirección.

2.8.6.1.1 Procesamiento de la señal del sensor de velocidad (VSS).

Programación para procesar el sensor de velocidad:

```
INICIO:
PORTD.1=0
PIR1.2=0
while PIR1.2=0
wend
PIR1.2=0
TMR1L=0
TMR1H=0
WHILE PIR1.2=0
WEND
PIR1.2=0
DATO1=CCPR1L
DATO2=CCPR1H
VALOR= DATO2 << 8 + DATO1
calculo=pow(VALOR,-1.082)
calculo=359643.0*calculo
UART1_WRITE(VELOCIDAD)
GOTO INICIO
End
```

Nota: Dirigirse al Anexo 3 para la explicación de las líneas de programación.

2.8.6.1.2 Señal del sensor de Presión.

El microcontrolador detecta la señal de presión, mediante la programación de sus pines:

```
presion=adc_read(1)
presion1=presion >> 2
```

Nota: Dirigirse al Anexo 3 para la explicación de las líneas de programación.

2.8.6.1.3 Señal del sensor de Angulo de Giro de la Dirección.

El microcontrolador detecta la señal de ángulo de giro mediante la siguiente programación:

```
potenciometro=adc_read(0)
potenciometro1=potenciometro >> 2
```

Nota: Dirigirse al Anexo 3 para la explicación de las líneas de programación.

2.8.6.1.4 Señal del sensor CKP

El microcontrolador detecta la señal del CKP, mediante la siguiente programación:

```
CCP1CON=%00000101
PIR1.2=0
while PIR1.2=0
wend
PIR1.2=0
TMR1L=0
TMR1H=0
WHILE PIR1.2=0
```

```
WEND
PIR1.2=0
DATO1=CCPR1L
DATO2=CCPR1H
VALOR= DATO2 << 8 + DATO1
rpm=pow(valor,-0.964)
rpm=514003*rpm
rpm1=rpm
```

Nota: Dirigirse al Anexo 3 para la explicación de las líneas de programación.

2.8.6.2 Restricciones para el control electrónico.

Para dar las restricciones se debe tener en cuenta aspectos importantes del sistema de dirección en donde se sabe por principios de hidráulica que la bomba del sistema genera presión en el momento de girar el volante.

Tomando en cuenta el aspecto anterior las restricciones son dadas en el doblado y al aparcar el vehículo, en el primer caso el conductor tendrá siempre el control del volante evitando accidentes graves por ablandamiento del mismo, en el segundo caso con el fin de reducir el consumo.

Tomando en cuenta esta particularidad lo que se realiza en la programación es definir las velocidades del vehículo, para que entre en funcionamiento la electroválvula del sistema de control, la misma que está instalada en derivación al circuito principal.

2.8.6.2.1 Restricciones para velocidades menores a 15 km/h.

Con velocidad menor a 15 Km/h, ángulo de dirección en cero grados, la asistencia es del 100% es decir electroválvula del sistema de control desactivada. Angulo cero grados corresponde al volante en el centro. Para la programación se utilizan valores de $132 < x < 136$ que pertenecen a un intervalo de ángulo igual a cero grados.

Con ángulos variando de 0 a 610° a la izquierda, en este caso el porcentaje de asistencia disminuye linealmente, teniendo en 0° 100 % de asistencia, hasta cuando llega a 610° en donde la asistencia desaparece, en el caso del giro a la derecha se usa el mismo criterio pero la disminución de asistencia es hasta los 550°, dado que este es el tope de giro en ese sentido, ver Tabla 13.

Nota. Los valores de grados deben ser pasados a valores decimales para realizar la programación, esto se realiza en la Tabla 5.

```
if velocidad<15 then
  if potenciometro1<132 then
    control2=-5.91*(potenciometro1-132.0)+1
  end if

  if potenciometro1>136 then
    control2=5.05*(potenciometro1-136.0)+1
  end if
  if potenciometro1>=132 then
    if potenciometro1<=136 then
      control2=0
    end if
  end if
end if
```

Nota: Dirigirse al Anexo 3 para la explicación de las líneas de programación.

Tabla 13. Datos Para Programar Giro del Volante
Fuente: Los Autores

Giro Izquierda		
Valor decimal del sensor giro	Valor decimal para activar la electroválvula	Porcentaje de asistencia (%)
181	255	0
175	218	14
169	182	28
162	145	42
155	109	57
149	72	71
143	36	85
136	0	100
Giro Derecha		
136	0	100
130	36	85
123	72	71
117	109	57
110	145	42
104	182	28
98	218	14
97	255	0

2.8.6.2.2 Restricciones para velocidad menor a 15 Km/h y topes de giro del volante.

Para garantizar que el sistema este sin asistencia en los topes de giro, se restringe a los valores decimales, $x < 101$ para la izquierda y $x > 172$ para la derecha, colocando la activación de la electroválvula al 100%, es decir que el sistema se queda sin asistencia, ver Tabla 14.

Tabla 14. Datos Para Programar Giro del Volante
Fuente: Los Autores

Giro Izquierda		
Valor decimal del sensor giro	Valor decimal para activar la electroválvula	Porcentaje de asistencia (%)
181	255	0
175	218	0
172	214	0
169	182	28
162	145	42
155	109	57
149	72	71
143	36	85
136	0	100
Giro Derecha		
136	0	100
130	36	85
123	72	71
117	109	57
110	145	42
104	182	28
101	176	0
98	218	0
97	255	0

Para que el microcontrolador realice la restricción mencionada en la programación se realiza lo siguiente:

```
if potenciometro1<101 then
    control2=255
```

```

end if
if potenciometro1>172 then
  control2=255
end if

```

Nota: Dirigirse al Anexo 3 para la explicación de las líneas de programación.

2.8.6.2.3 Restricciones para velocidades de 15 Km/h a 40 Km/h.

Con velocidades mayores a 15 Km/h, la lectura del sensor de ángulo de giro no se considera, en donde a velocidades mayores a 15 K/h se tiene una asistencia del 100%, disminuyendo linealmente hasta los 40 Km/h y a partir de esta velocidad la asistencia es del 0%, ver Tabla 15.

Tabla 15. Datos para Control en Velocidad
Fuente: Los Autores

Velocidad	Valor decimal para activar la electroválvula	Porcentaje de asistencia (%)
15	0	100
20	85	80
25	170	60
30	255	40
35	255	20
40	255	0
45	255	0

En el ajuste de la curva se usa una línea de tendencia lineal, con un coeficiente de determinación $R^2 = 1$, que da un ajuste perfecto, ver Fig. 49.

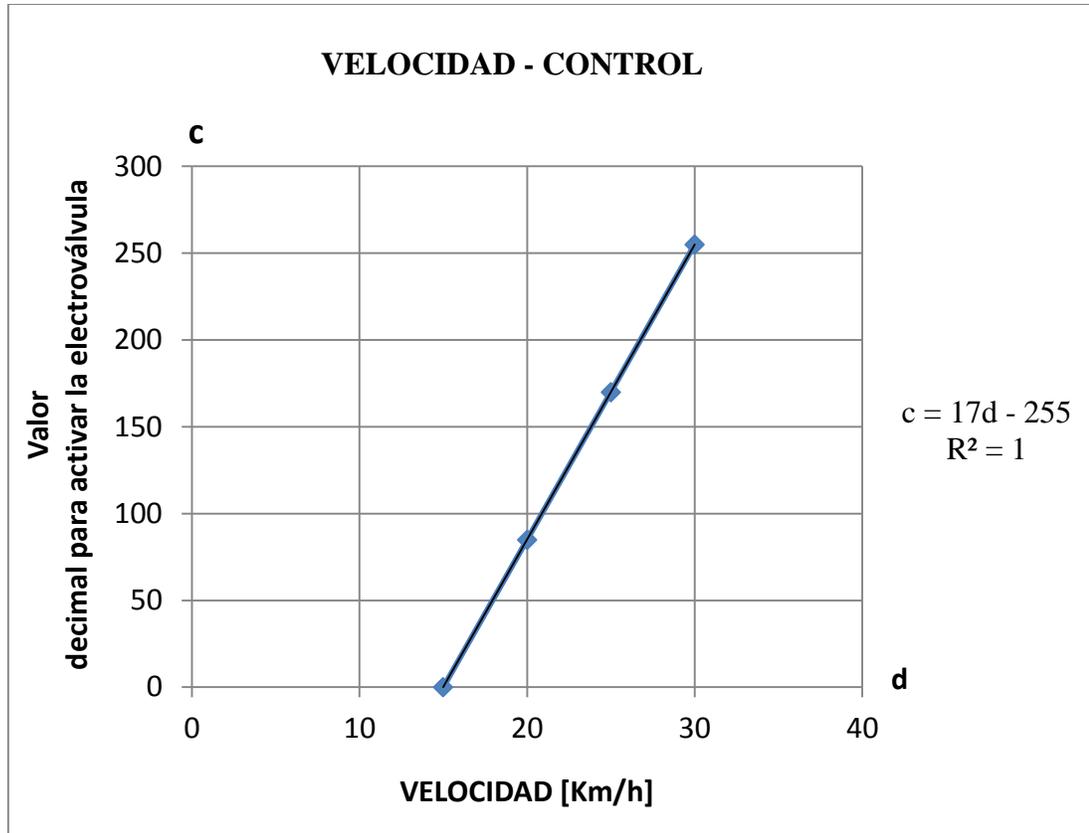


Fig. 49. Porcentaje de Asistencia con Velocidad
Fuente: Los Autores

Para que cumpla este objetivo se inserta en la programación la ecuación obtenida:

```

if velocidad>15 then
    control2=17*(velocidad-15)
end if
if velocidad>30 then
    control2=255
end if
control=control2

```

Nota: Dirigirse al Anexo 3 para la explicación de las líneas de programación.

2.9 ACTUADOR.

Esta es la última etapa del sistema de control electrónico aplicada al sistema de dirección del auto, en donde se usa como actuador una electroválvula que es accionada por un ancho de pulso PWM, por lo que se necesita de las siguientes características para su selección.

La selección de la electroválvula se hace considerando los datos técnicos del sistema de dirección y las necesidades de control, a continuación se dan a conocer los dos aspectos respectivamente.

2.9.1 Datos técnicos del sistema de dirección, para la selección de la electroválvula.

Es preciso que la electroválvula soporte la presión y el caudal que genera el sistema de dirección del auto, dado que si no lo hace restringiría el paso de aceite hidráulico, de ser así el sistema de control trabajaría con irregularidades, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- El sistema de dirección hidráulica genera una máxima presión que es aproximadamente de 78 bares.
- El caudal máximo es de 5 lt/min a 6 lt/min.

2.9.2 Necesidades de control, para la selección de la electroválvula.

Las necesidades de control son pocas, lo que se requiere es que la electroválvula soporte la activación con el ancho de pulso PWM con la frecuencia deseada y que se active con voltaje normal del coche.

- La máxima frecuencia que debe soportar es de 40 Hz.
- El voltaje de alimentación que se requiere es de 12v DC.

2.9.3 Selección de la electroválvula.

Al momento de adquirir la electroválvula se tiene en consideración de los puntos anteriores. En el mercado se encuentra la electroválvula con las siguientes características.

- Presión máxima 315 bares.
- Flujo máximo de 60 l/min.
- Frecuencia de 50 Hz.
- Voltaje de alimentación de 12 v DC.

La electroválvula seleccionada es la que más se aproxima a las necesidades antes mencionadas, por lo que se utiliza para realizar el sistema de control de la dirección, ver Fig. 50.



Fig. 50. Electroválvula
Fuente: Los Autores

2.10 PROGRAMACIÓN DEL PWM DE ACTIVACIÓN DE LA ELECTROVÁLVULA DEL SISTEMA DE CONTROL.

Para activar la electroválvula se utiliza una señal digital PWM, que es generada por el microcontrolador, esta modifica su ciclo útil, de esta forma se varía el tiempo de apertura de la electroválvula.

Se usa el pin 19 del microcontrolador, para que sea el encargado de dar la señal de modulación de ancho de pulso (PWM).

Nota. Lo de tiempo alto y tiempo bajo se explica en el apartado 2.7.6.

Para determinar la señal PWM de acuerdo a los parámetros de la variable de control, que depende de todas las restricciones anteriormente explicadas se realiza la programación siguiente forma:

```
CONST TMAX AS WORD = 255
const periodo as word = 153
SUB PROCEDURE INTERRUPT
  IF TESTBIT(intcon,TMR0If) = 1 then
    IF HLFLAG= 1 THEN
      portd.0 = 0
      TEMPORAL=TMAX-periodo+CICLO_UTIL
      HLFLAG=0
    ELSE
      portd.0 = 1
      TEMPORAL=TMAX-CICLO_UTIL
      HLFLAG=1
    END IF
    TMR0=TEMPORAL
    clearbit(intcon,TMR0If)
  end ifEND SUB
```

main:

```
DELAY_MS(1000)
TRISD.0 = 0

option_reg=%11000110

INTCON=%10100000

portd.0=1
```

HLFLAG=1

Nota: Dirigirse al Anexo 3 para la explicación de las líneas de programación.

2.11 CIRCUITO ELÉCTRICO PARA ACTIVAR LA ELECTROVÁLVULA.

La activación de la electroválvula se la realiza con los pulsos del PWM que se adquieren del microcontrolador, estos pulsos son de 5 v DC que es enviado a un transistor de potencia que posteriormente alimenta la electroválvula con 12 v DC.

El circuito consta de un transistor de potencia mosfet, para que soporte elevadas corrientes, posterior a ello se debe instalar un diodo en paralelo a la electroválvula para evitar que se formen picos de tensión en la PWM, garantizando con esto el correcto funcionamiento de la electroválvula, ver Fig. 51.

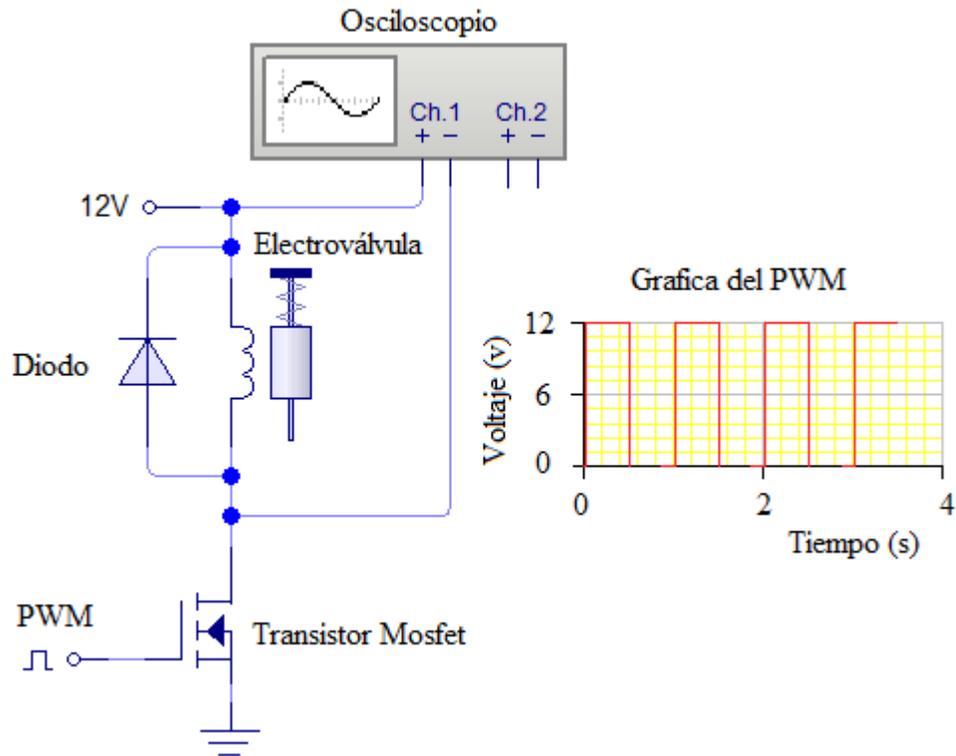


Fig. 51. Excitación de la Electroválvula
Fuente: Los Autores

2.12 VISUALIZACIÓN DE DATOS.

La visualización de datos se hace mediante un visualizar LCD, ver Fig. 52.

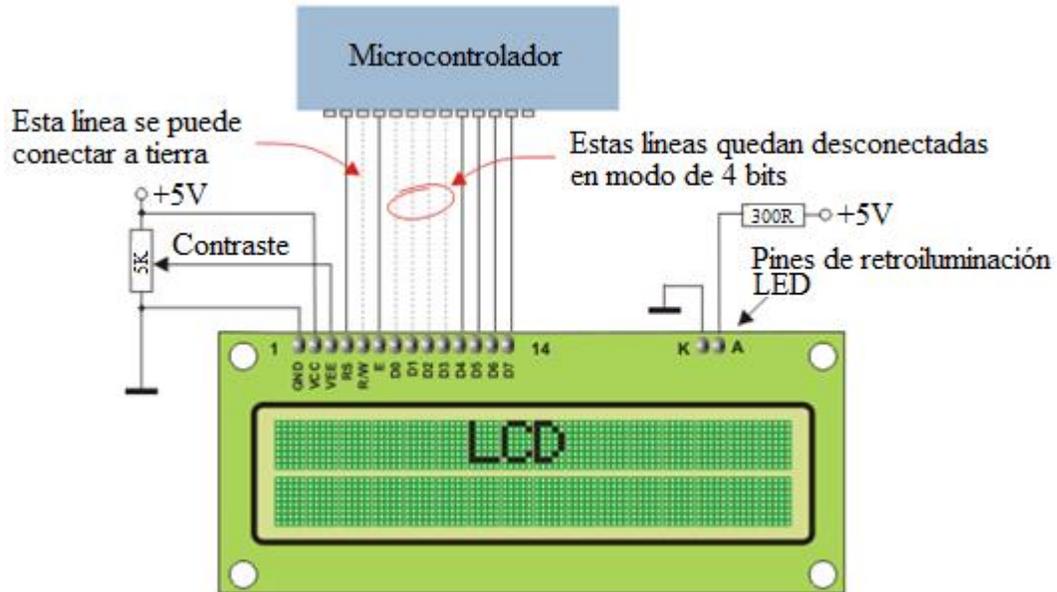


Fig. 52. Instalación del Visualizador LCD
Fuente: www.mikroe.com/chapters/view/82/capitulo-4-ejemplos/

En el visualizador LCD se observa lecturas de, presión existente en el sistema de dirección, de régimen de giro del motor, de velocidad y porcentaje de asistencia en cada momento dentro del circuito.

La visualización de los parámetros antes indicados se realizan todos por igual en una sola pantalla con esto podemos estar atentos a lo que le sucede al sistema de dirección en cada momento, ver anexo 4.

2.13 DISEÑO HIDRÁULICO.

El diseño del control hidráulico parte del sistema original de la dirección del vehículo honda CR-V de 1998, en donde este se puede traducir a un circuito hidráulico de la siguiente manera: depósito, bomba, válvula distribuidora (4/3), cilindro de doble efecto, ver Anexo 5.

Para la desviación del fluido hidráulico al depósito se coloca una electroválvula de control 2/2, la cual es colocada en paralelo a la cañería de alta presión del sistema de dirección, ver Anexo 6.

2.14 SELECCIÓN DE ACOPLEROS Y MANGUERAS PARA IMPLEMENTAR EL SISTEMA HIDRAULICO.

Para derivar el fluido hidráulico se implementa un acople hidráulico en forma de Te macho de 3/8 NPT en la cañería de alta presión, la utilización de un acople hidráulico en forma de Te de 3/8 se debe a que al utilizar una de tamaño menor se estrangula el caudal por ende se genera más presión en el sistema hidráulico de la dirección, ver Fig. 53.



Fig. 53. Acople hidráulico en forma de Te Macho

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/pneumatic-or-hydraulic-machine-brass-flare-pipe-tee-575653219.html>

Tabla 16. Características del acople hidráulico Te Macho

Fuente: http://www.gates.com.mx/pdf/CAT%3%81LOGO_LAT%3%93N_11sm.pdf

Dimensiones, pulg				
Tamaño Rosca NPT pulg	A	B	C	Presión de Servicio, bar
3/8	1.060	0.281	0.500	551

El Acople hidráulico en forma de Te deriva el aceite hidráulico por medio de una manguera de alta presión hasta un codo 1/4 NPT, esta manguera se debe colocar de una forma tal que no estrangule el caudal ya que puede causar fallos en el circuito hidráulico, ver Fig. 54.

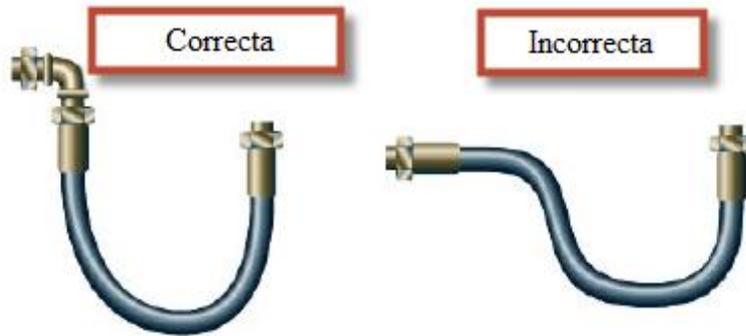


Fig. 54. Mangueras Hidráulicas

Fuente: <http://industriales.utu.edu.uy/archivos/mecanica-general/CURSO%20DE%20HIDRAULICA/MANUAL%20DE%20HIDRAULICA.pdf>

La manguera dispone de acoples para que enrosque en el acople hidráulico en forma de Te por un extremo y a un codo hidráulico por el otro, el codo hidráulico es de 3/8 NPT de cobre para evitar estrangulaciones y problemas en el circuito, ver Fig. 55.

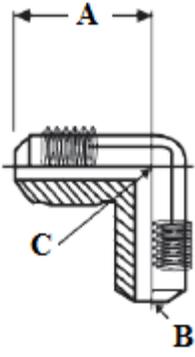


Fig. 55. Acople Hidráulico Codo

Fuente: http://www.ite-tools.com/uploads/es/ITE_Racores_a_atornillar_de_laton_y_de_acero_NPTflare_45_SAE.pdf

Tabla 17. Características del Codo Hidráulico

Fuente: http://www.gates.com.mx/pdf/CAT%20C3%81LOGO_LAT%20C3%93N_11sm.pdf

Dimensiones, pulg				
				
Tamaño Rosca NPT pulg	A	B	C.	Presión de Servicio, bar
1/4	0.880	0.188	0.437	492

El codo hidráulico de 1/4 NPT acopla en un acople hidráulico en forma de Te hembra de 1/4 NPT, la misma que se utiliza para enroscar el sensor de presión, ver Fig. 56.



Fig. 56. Acople Hidráulico Te Hembra

Fuente: <http://www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/ES/MS-01-147.pdf>

Tabla 18. Características del acople hidráulico T hembra de Acero
 Fuente: <http://www.swagelok.com/downloads/WebCatalogs/ES/MS-01-147.pdf>

Te Hembra NPT					
Tamaño rosca NPT pulg	Dimensiones, mm (pulg)				Presión de Servicio, bar (psig)
	A	E	L	F, pulg.	Acero Inox. 316, Acero
¼	59,4 (2,34)	11,4 (0,45)	29,7 (1,17)	11/16	248 (3600)

Retorno.- Para el retorno se utiliza una cañería y un acople hidráulico Te, la manguera y el acople hidráulico Te a utilizar en esta parte del circuito, son de bajas prestaciones ya que al tratarse del retorno no se maneja alta presión, ver Fig. 57.



Fig. 57. Manguera de Retorno
 Fuente: <http://codan.com.mx/>

CAPITULO III

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO EN EL VEHÍCULO HONDA CRV.

3.1 INTRODUCCION.

La implementación del control electrónico que comanda la dirección hidráulica en el vehículo, se inicia con la ubicación del sensor de ángulo de giro de la dirección, dado que es lo que se requiere en primera instancia para poder obtener su señal y programarla en el microcontrolador, considerando los parámetros de medición que este realiza.

Posteriormente se explica la adaptación del sistema hidráulico, en su conjunto, acoples, cañerías, sensor de presión y electroválvula. La implementación del sistema hidráulico se realiza con el fin de hacer pruebas de carretera con el sistema en funcionamiento.

Luego se procede con la alimentación del sensor de presión y ángulo de giro con 5 v DC, se realiza también la conexión de la electroválvula para que sea activada con 12 v DC, la alimentación de los sensores y activación de la electroválvula se la realiza desde el módulo de control electrónico.

Por último se procede a instalar el módulo de control electrónico del sistema de dirección en el vehículo. Esta instalación se hace considerando que el controlador debe estar protegido de altas temperaturas, ruidos e interferencias eléctricas por lo que se procede a ubicarlo en el habitáculo.

3.2 LA UBICACIÓN DEL SENSOR DE ÁNGULO DE GIRO DENTRO DEL VEHÍCULO.

Para colocar éste sensor en el vehículo se analiza el lugar en donde se pueda transmitir el giro del volante al potenciómetro sin interferencias mecánicas, ya que el traspaso de giro debe ser lo más simple y eficaz posible.

Por lo que se decide aprovechar el estriado que posee el eje de la columna de dirección para que haga de piñón conductor, mientras que en el potenciómetro multivuelta se debe construir un piñón, para que sea el encargado de tomar el giro de la columna de dirección.

3.2.1 Diseño y construcción del piñón para el potenciómetro multivuelta.

Para el diseño y construcción del piñón del potenciómetro multivuelta, se debe tener en cuenta las características del estriado de la columna de dirección, con el fin de construir un piñón en donde la transmisión de movimiento sea de 1:1.

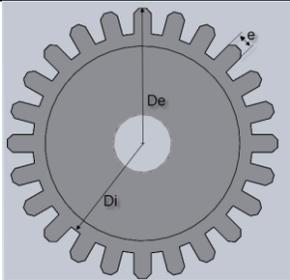
3.2.1.1 Parámetros para el diseño del piñón.

El diseño del piñón se hace considerado que la transmisión de movimiento debe ser 1:1, es decir que cuando la columna de dirección de una vuelta, el piñón del sensor de ángulo de giro debe también dar una vuelta, aspecto principal para iniciar el diseño del mismo.

Para diseñar un piñón se requiere de los datos de número de dientes, el espesor del diente, el diámetro exterior y el diámetro interior dado que no es un piñón común si no, uno que se acople al eje estriado de la columna de dirección.

Además como se trata de una transmisión de movimiento de 1:1 entonces basta con tomar los datos del estriado de la columna de dirección, y luego diseñar un piñón con las mismas características, ver Tabla 19.

Tabla 19. Datos para el diseño del piñón
Fuente: Los autores

Dimensiones del piñón	
Número de dientes $Z = 24$	
Diámetro exterior $De = 27.7\text{mm}$	
Diámetro interior $Di = 22.5\text{mm}$	
Espesor del diente $e = 1.8\text{mm}$	

Con las medidas necesarias para diseñar el piñón, se procede a dibujar en el software pertinente, en el mismo que se puede elegir el material y realizar una animación para ver la deformación que sufre bajo condiciones de fuerzas determinadas.

Para seleccionar el material se debe saber cuál el par máximo aplicado en el piñón, dicho dato es obtenido del manual del fabricante, donde dice que el par máximo aplicado con el vehículo detenido es de 5 N*m.

Sabido esto y tomando en cuenta que el par es pequeño se selecciona como material al plástico grilon, posterior a ello se realiza la simulación, teniendo como resultado una deformación muy pequeña concluyendo entonces que es el material adecuado para su construcción, ver Fig. 58.

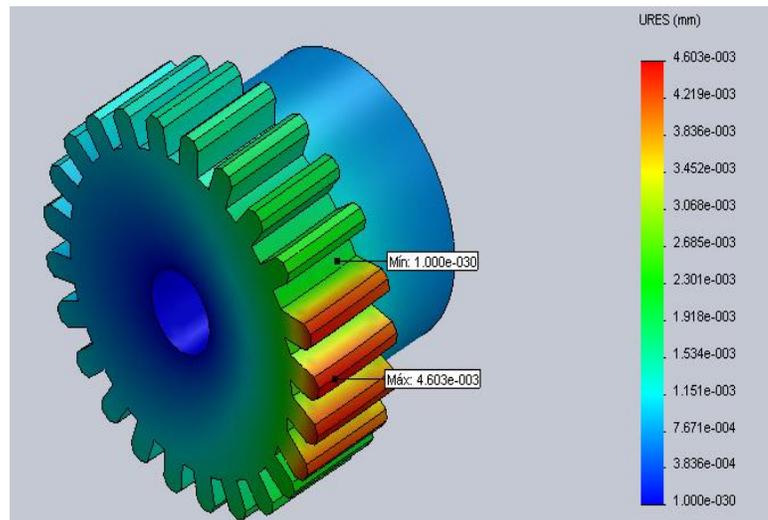


Fig. 58. Deformación del piñón en los puntos críticos

Fuente: Los autores

El diseño del piñón tiene un factor de seguridad de 3, soportando sin ningún inconveniente el par transmitido, se observa en la Fig. 58 que la deformación máxima en el punto crítico es de 0.0046 mm, prácticamente nula, por ende se procede con la construcción del mismo, diríjase al Anexo 7 para una mayor explicación del análisis de tensiones.

Para la construcción del piñón en grilon antes se da a conocer algunas características importantes a cerca de esta material:⁵³

Poliamida obtenida por extrusión. Color del producto: blanco.

- Muy buena resistencia mecánica.
- Buena resistencia a la fatiga y al desgaste.
- Buenas propiedades mecánicas y dieléctricas.
- Buena resistencia a los agentes químicos.
- Absorbe humedad.

3.2.1.2 Construcción del piñón.

La construcción del piñón se realiza en el torno, dándole todas las dimensiones del diseño, ver Fig. 59.

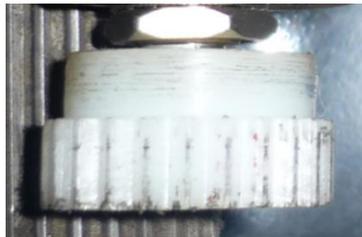


Fig. 59. Construcción del Piñón
Fuente: Los Autores

3.2.2 Montaje del Sensor de ángulo de giro en el vehículo.

El montaje del sensor de ángulo de giro en el vehículo, se hace mediante un anclaje mecánico, por lo que se construye un soporte metálico que sostendrá al potenciómetro multivuelta, de esta manera se ponen en contacto ambos piñones y al conjunto se le ubica en uno de los pernos de la columna de la dirección, ver Fig. 60.

Este anclaje mecánico al no estar sometido a ningún esfuerzo o carga, no necesita de un cálculo matemático complejo ya que únicamente se requiere que sostenga rígidamente al potenciómetro multivuelta y que mantenga en contacto permanente a dichos engranajes.

⁵³ <http://www.inoxidable.com/propiedades1.htm>

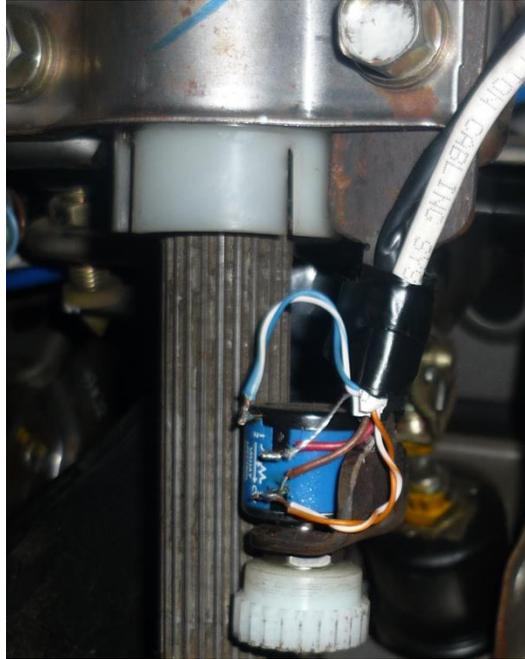


Fig. 60. Montaje del Sensor de Angulo de Giro de la Dirección
Fuente: Los Autores

3.3 INSTALACIÓN DE LA ELECTROVÁLVULA EN EL VEHÍCULO.

Al ser la electroválvula la que desvía el caudal de aceite al depósito, esta requiere de una instalación adecuada, que sea lo más segura posible y de fácil acceso, por tanto para su instalación se toma en consideración la posición del soporte para la electroválvula, el cual se lo explica a continuación:

3.3.1 Posición del soporte para la electroválvula.

Antes de instalar la electroválvula se necesita construir una placa en chapa metálica que sirva de alojamiento, esta se construye considerando aspectos importantes como:

- La proximidad de la electroválvula en relación al sistema de dirección hidráulica.
- El espacio disponible en el vehículo.

3.3.1.1 La proximidad de la electroválvula en relación al sistema de dirección hidráulica.

Este aspecto se toma en consideración por que es necesario que la electroválvula esté a la salida de la bomba de dirección hidráulica, recibiendo la presión del sistema para luego desviar este fluido al depósito, según como sea activada por el módulo de control de la dirección.

Un punto importante a considerar es que al estar más cerca la electroválvula del sistema hidráulico, se utilizarán menos cañerías y acoples que a la postre significa gasto económico.

Otro aspecto importante que se analiza por separado es el espacio disponible en el vehículo, debido a que las particularidades anteriores no servirían de nada considerarlas, si no se tiene un espacio idóneo en el coche en donde ubicarla.

3.3.1.2 El espacio disponible en el vehículo.

El espacio disponible es un aspecto de gran relevancia, ya que el vehículo no viene diseñado para realizar adaptaciones de sistemas ni modificaciones extras, por lo que se opta por aprovechar todos los recursos posibles y utilizables del coche.

Teniendo en cuenta el aspecto anterior, se utiliza un perno de la base del motor y de unos agujeros presentes en la carrocería, ver Fig. 61.



Fig. 61. Utilización Óptima del Espacio en el Vehículo
Fuente: Los Autores

3.3.2 Diseño de la base para la electroválvula.

Una vez determinado el espacio más factible para la ubicación de la electroválvula y tomando en consideración que esta va a soportar un peso de 4,5 kg, se procede a realizar el diseño de la base para la electroválvula en chapa metálica de 6 mm de espesor para evitar deformaciones de dicha base.

La forma que se da a la base es con un pequeño escalón para ubicar a la electroválvula en un nivel inferior a los agujeros presentes en la carrocería, esto se lo realiza para evitar que la misma este en un nivel que interfiera con el capo del vehículo.

Después se procede a colocar un apoyo para la base en la cual reside el mayor peso de la electroválvula, este soporte se lo ancla en uno de los pernos de la base del motor el cual posee una gran resistencia mecánica, y la base se la ancla un los 3 agujeros presentes en la carrocería para garantizar un soporte adecuado, ver Fig. 61 y Fig. 62.

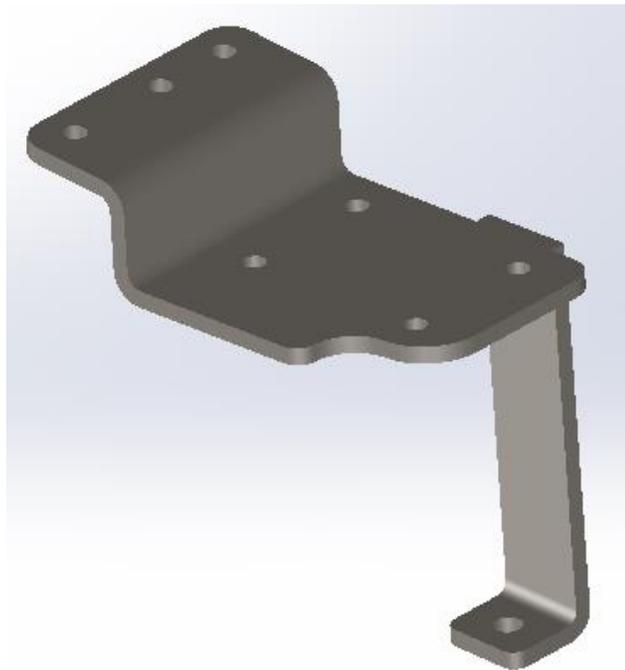


Fig. 62. Diseño de la base para la electroválvula
Fuente: Los Autores

Y por último se procede a realizar un análisis de tensiones en el cual se determina si los parámetros de diseño son adecuados o se requiere de modificaciones en el diseño, este

análisis se lo realiza con la ayuda de un programa el cual nos facilita los resultados de dicho estudio, dirigirse al Anexo 8 para mayor información sobre el estudio.

Los resultados de la simulación nos da el siguiente resultado de la tensión de von Mises, la cual se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Valores de Máximo y Mínimo de la Tensión de von Mises
Fuente: Los Autores

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	6648.23 N/m ² Nodo: 18847	4.14972e+006 N/m ² Nodo: 20873

La máxima tensión de Von Mises se basa en la teoría de von Mises-Hencky, o teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima. Esta teoría dice que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión.⁵⁴

Como se puede observar en la Fig. 63 esta tensión de von Mises no supera el límite elástico del material, por lo que se decide optar por la construcción de la base para la electroválvula con estas características de diseño.

⁵⁴http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Checking_stresses/prot_vonm.html

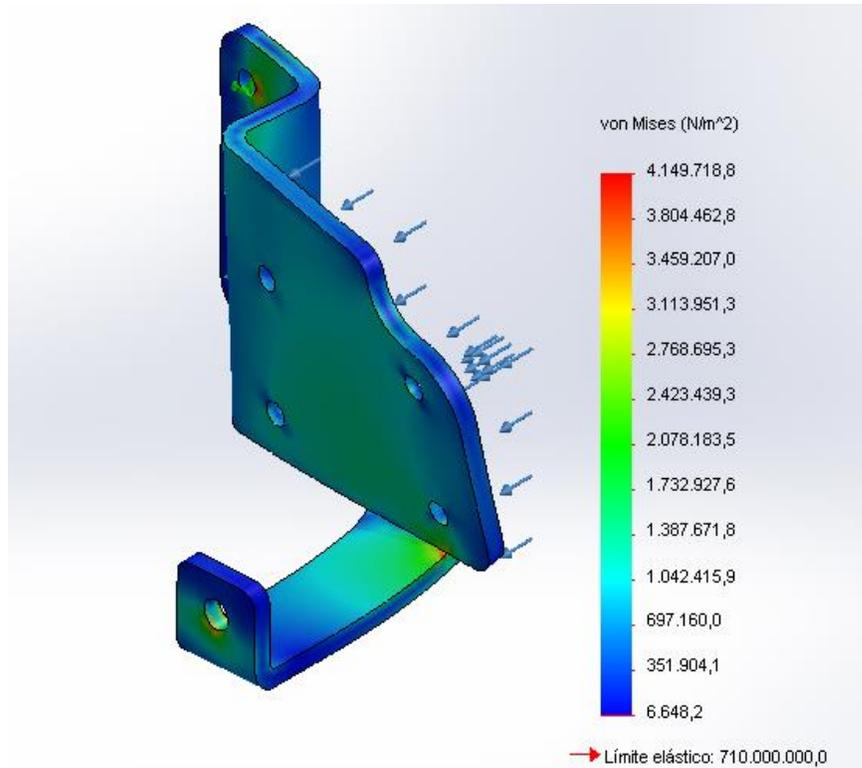


Fig. 63. Representación de las Tensión de Von Mises
Fuente: Los Autores

3.3.3 Construcción de la base para la electroválvula.

La construcción del alojamiento de la electroválvula se la realiza con las especificaciones mencionadas en su diseño, tales como su espesor, longitudes y sus puntos de anclaje.

La forma que se necesita dar a dicha placa, se la realiza calentando y golpeando el material hasta que tome lo forma del diseño, una vez dada la forma a la base se precede a sujetarla en los agujeros de la carrocería para poder soldar con mayor precisión un soporte que será anclado a un perno de la base del motor, ver Fig. 64.



Fig. 64. Construcción de la Base
Fuente: Los Autores

3.4 TOMA DE SEÑALES E INSTALACION DE COMPONENTES ELECTRONICOS IMPLEMENTADOS.

La toma de señales se realiza con cables multipar, para esto se identifica todos los pines de señal de cada sensor, posterior a ello se realiza un empalme con cada cable y se procede a llevarlos hasta el habitáculo del vehículo, ver Fig. 65.



Fig. 65. Empalmes de Cables
Fuente: Los Autores

La conexión de la electroválvula se realiza con cable multipar, en esta no es indispensable identificar el sentido de alimentación, ya que esta es una bovina que al ser energizada es activada, esta electroválvula viene con un pin para conexión a tierra.

Una vez realizado el conexionado de la electroválvula, se procede a llevar los cables hasta el habitáculo ya que en este lugar se encuentra el módulo de control, el mismo que acciona la mencionada electroválvula, ver Fig. 66.



Fig. 66. Conexionado de la Electroválvula
Fuente: Los Autores

La conexión del sensor de presión se realiza identificando los pines de alimentación, masa, señal y tierra en el manual del fabricante, además se lleva los cables hacia el habitáculo para conectarlos al módulo de control, ver Fig. 67.



Fig. 67. Conexionado del Sensor de Presión
Fuente: Los Autores

La conexión del sensor de ángulo de giro de la dirección se realiza con tres cables, de los cuales dos son de alimentación y uno será la señal que se la envía al módulo de control electrónico de la dirección, ver Fig. 68.



Fig. 68. Conexión del Sensor de Angulo de Giro
Fuente: Los Autores

Para el resto de sensores como el VSS y CKP, simplemente se realiza un empalme y se traslada hasta el módulo de control los cables que llevan la señal de estos sensores.

Una vez que se tenga todo el cableado en el habitáculo se procede a realizar la instalación de un conector de 9 pines para su fácil instalación con el módulo de control, ver Fig. 69.

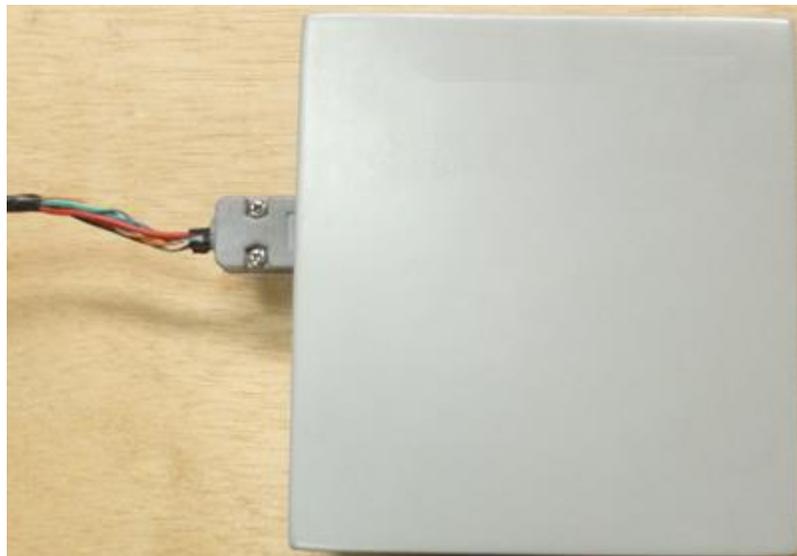


Fig. 69. Instalación de un Conector de 9 Pines
Fuente: Los Autores

3.4 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL ELECTRO-HIDRÁULICO EN EL VEHÍCULO.

3.4.1 Implementación del soporte para la electroválvula.

Una vez diseñado y construido el soporte metálico para la electroválvula se procede a ubicarlo en el vehículo, el anclaje de este componente se hace mediante pernos que lo mantienen unido firmemente con la carrocería. Sobre el soporte metálico se coloca la base de montaje hidráulica, que viene con la electroválvula, ver Fig. 70.

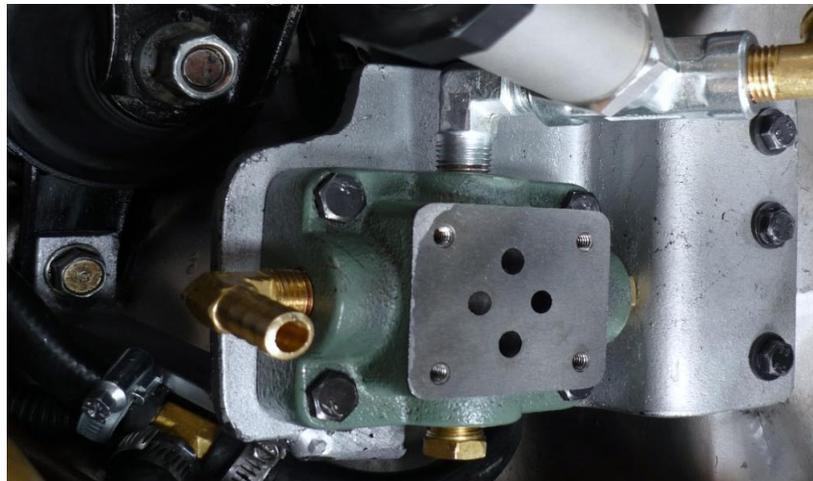


Fig. 70. Ubicación de la Base y Placa de Montaje Hidráulica
Fuente: Los Autores

Cabe recalcar en esta parte que la electroválvula adquirida es una 4/2 (4 vías, 2 posiciones), para que esta funcione de acuerdo a los requerimientos del sistema diseñado se tapan dos vías convirtiéndola en una electroválvula 2/2, ver Fig. 7.

Las vías que se tapan son A y T (Nombre de las vías de las válvulas en general, en donde A envía hacia un actuador y T va al depósito).1

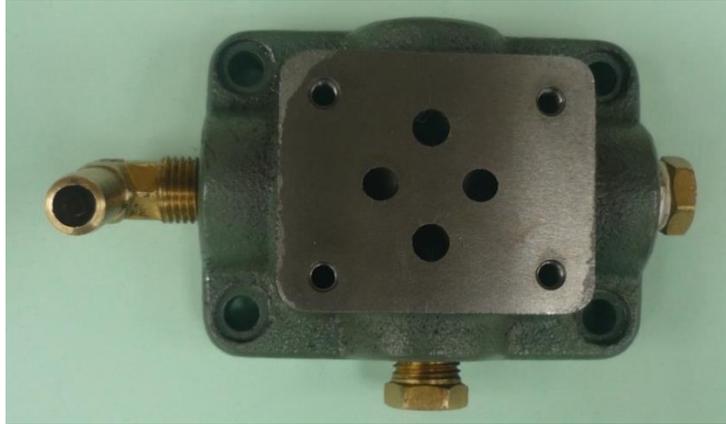


Fig. 71. Cierre de dos Vías con Tapones de Cobre de la Electroválvula
Fuente: Los Autores

3.4.2 Implementación de la Electroválvula.

Una vez colocado el soporte y la base, sobre ellos se monta la electroválvula, dicho montaje se realiza con pernos que vienen adjuntos con ella, los pernos que anclan a la electroválvula con la base son de cabeza hexagonal, ver Fig. 72.



Fig. 72. Montaje de la Electroválvula en el Vehículo
Fuente: Los Autores

3.4.3 Implementación de los componentes del sistema hidráulico.

Para la implementación del sistema hidráulico, lo que se hace es instalar todos los componentes señalados en la selección de elementos, tales como acoples hidráulicos en forma de T, codos y cañerías hidráulicas, etc.

Se debe tener en cuenta que la cañería de alta presión consta con una válvula check en su parte flexible, por lo que no se puede realizar ningún acople en esta zona de la cañería.

Por lo citado en la parte anterior se procede a seccionar la cañería de alta presión en el extremo inferior de esta, para la adaptación de un acople en forma de Te 3/8 NPT, este proceso se realiza desmontando la cañería de alta presión del vehículo.

En el acople hidráulico con forma de Te se conecta nuevamente la cañería de alta presión seccionada mediante acoples rápidos y también se conecta la cañería que deriva el fluido hidráulico al depósito, ver Fig. 73.



Fig. 73. Instalación de la Cañería y Acoples para la Derivación del fluido Hidráulico
Fuente: Los Autores

En la cañería que se usa para derivar el aceite a presión, por un extremo se instala el acople hidráulico en forma de Te mientras que por el otro se conecta a una unión de 1/4 NPT, y esta unión se enrosca en un codo de 1/4 NPT, ver Fig. 74.



Fig. 74. Instalación de Codos y Uniones en el Sistema de Dirección
Fuente: Los Autores

Una vez instalado el codo, se procede a instalar en él un acople en forma de Te hembra, esto se realiza debido a que se necesita colocar el sensor de presión en dicho acople, todos estos acoples se realizan con el fin de no realizar maniobras inadecuadas con la manguera de derivación del fluido hidráulico, ver Fig. 75.



Fig. 75. Acople para el Sensor de Presión
Fuente: Los Autores

Una vez instalado el acople para el sensor de presión se procede a ubicar el mismo en su alojamiento. A la salida del acople hidráulico en forma de Te hembra se instala un codo macho que llega hasta el cuerpo hidráulico, ver Fig. 76.



Fig. 76. Instalación los Acoplen con el Cuerpo Hidráulico.
Fuente: Los Autores

Finalmente para el retorno del líquido hidráulico al depósito se instala un codo que por un lado se enrosca en la electroválvula y por el otro se instala una cañería de retorno ajustándola con una brida. En la cañería de retorno original del sistema de dirección se instala un acople hidráulico en forma de T, para el retorno del líquido desde la electroválvula, ver Fig. 77.



Fig. 77. Instalación de la Cañería de Retorno
Fuente: Los Autores

3.4.4 Implementación del sistema eléctrico.

La implementación del sistema eléctrico hace referencia, a la alimentación del circuito impreso con 12 v DC, el sensor de presión y el sensor de ángulo de giro con 5 v DC, este último se lo realiza por separado para disminuir el número de cables que llegan a la placa impresa. La alimentación de estos dos componentes se lleva a cabo en el instante de abrir el interruptor de encendido.

3.5 CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.

Para la construcción del sistema de control electrónico de la dirección hidráulica, se realiza varias pruebas del circuito electrónico en un protoboard, además de realizar varias simulaciones del mismo, ver Fig. 78 y Anexo 4.

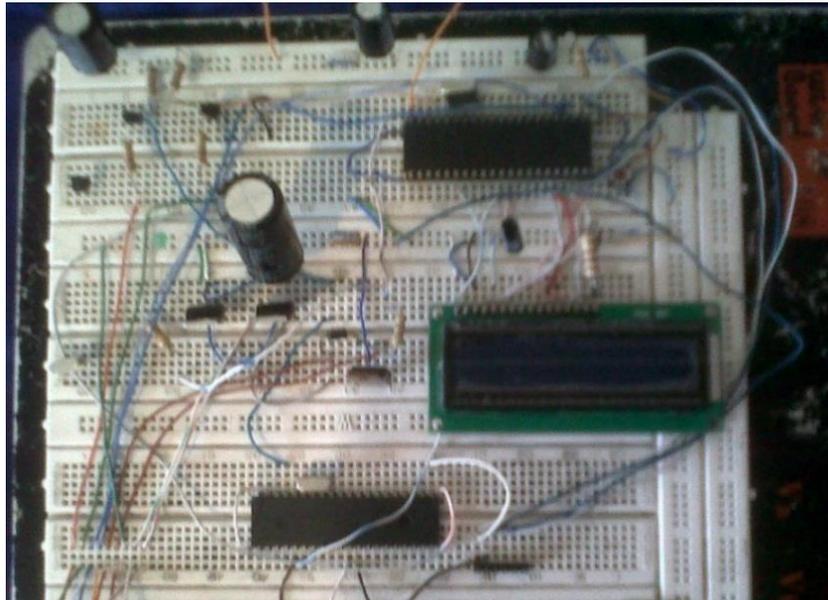


Fig. 78. Circuito Electrónico en Protoboard
Fuente: Los Autores

3.5.1 Construcción del Circuito Impreso.

Después de realizar las pruebas pertinentes del sistema de control, se procede a construir el circuito impreso iniciando con el proceso de ruteado, en donde se puede visualizar la estructura de la placa, ver Fig. 79.

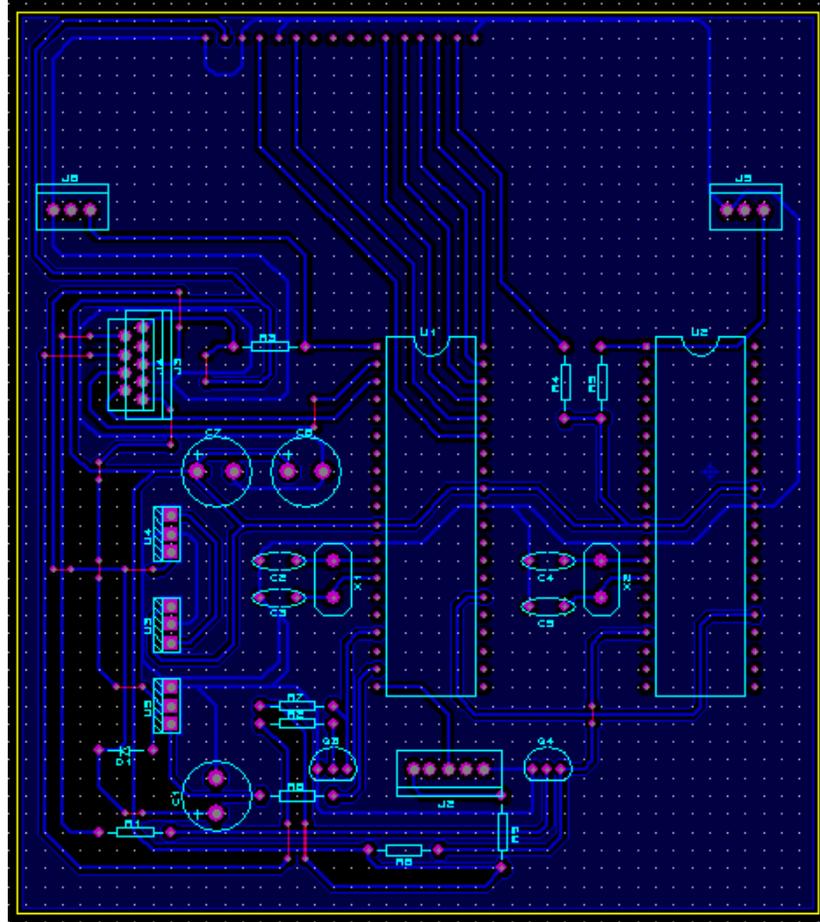


Fig. 79. Ruteo del Circuito Impreso
Fuente: Los Autores

Los programas para realizar el circuito impreso, permiten la visualización de la placa antes que la misma se construya, sirviendo esto de ayuda para evitar cometer errores en la posterior construcción, ver Fig. 80 y Fig. 81.

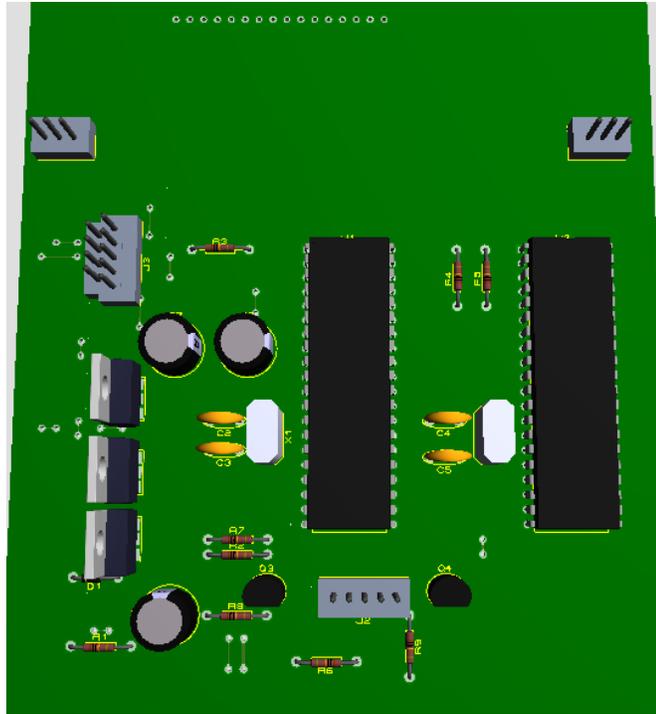


Fig. 80. Circuito Impreso Simulado
Fuente: Los Autores

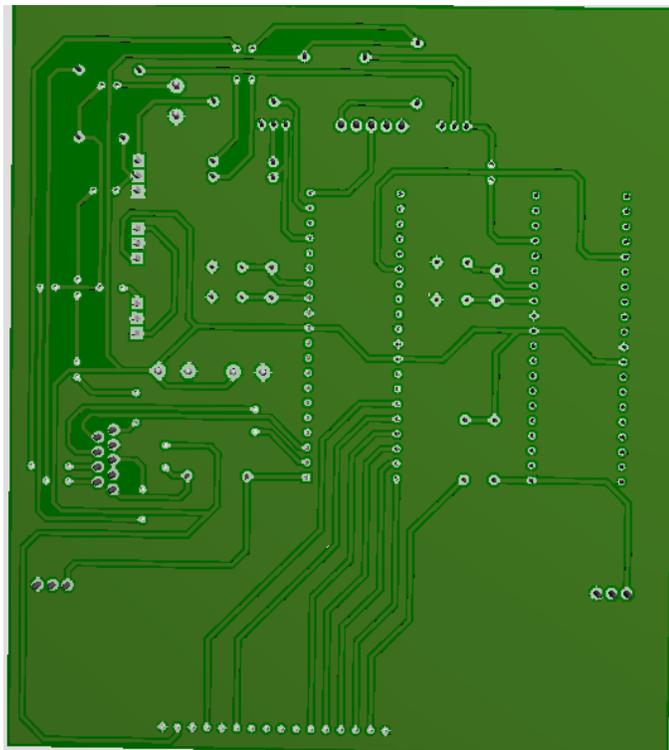


Fig. 81. Parte Posterior del Circuito Impreso Simulado
Fuente: Los Autores

Una vez diseñado se procede a construir de la placa impresa, este proceso es realizado por parte de otra persona entendida en el tema, ver Fig. 82.

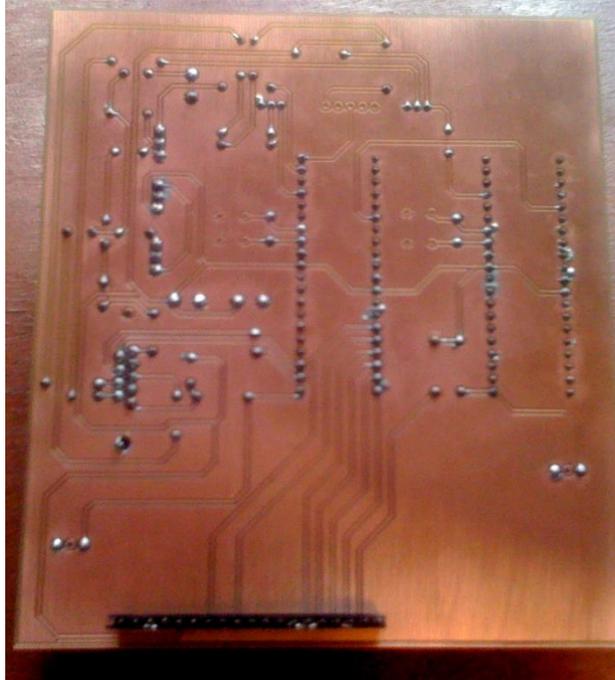


Fig. 82. Circuito Impreso Construido
Fuente: Los Autores

3.6 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.

Para realizar la implementación del circuito impreso en el vehículo se toma en consideración el aspecto primordial que es el espacio existente en el habitáculo del vehículo, entonces tomando en cuenta este punto la ubicación de la placa se realiza dentro del panel central del vehículo, de tal forma que no se puede visualizar por el ocupante.

Para visualizar de forma adecuada los datos en el visualizador LCD, se construye una caja para que sea la portadora de dicho visualizador, con esto se gana una mejora en la estética del proyecto, ver Fig. 83.



Fig. 83. Caja para el Visualizador LCD
Fuente: Los Autores

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE LA EFICACIA DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

4.1 INTRODUCCIÓN

El análisis de la eficacia del sistema implementado se realiza mediante pruebas experimentales, es decir se realiza pruebas de carretera, en donde se requiere de la sensibilidad del conductor, para que pueda dar un veredicto a cerca del buen o mal funcionamiento del sistema de control electrónico, esto en cuanto a seguridad y confort.

Las pruebas se realizan en diferentes circunstancias, tales como, en ciudad y vía rápida para comprobar el aumento de seguridad al conducir, así como también la disminución en el consumo de combustible.

La comprobación de que el volante se vuelve más rígido en altas velocidades y blando a baja velocidad, se realiza midiendo la fuerza que se aplica al volante antes y después del sistema de control implementado, la medida de esta fuerza se hace con un dinamómetro, con la ayuda de esta herramienta podemos determinar la fuerza que se aplica sobre el volante.

El consumo de combustible se determina mediante el método de tanque lleno, en donde con la ejecución de pruebas de carretera se establece el consumo primero sin el sistema de control y luego con el sistema de control implementado, y posteriormente mediante métodos estadísticos se obtienen las conclusiones de la factibilidad de incorporar al vehículo el control electrónico para la dirección.

4.2 GENERALIDADES DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN.

El sistema de dirección del coche es el encargado de cambiar la dirección de las ruedas directrices según los requerimientos del conductor, por esta razón se tiene sistemas de dirección mecánicos o con asistencia.

Los sistemas de dirección mecánicos hacen que el conductor tenga que realizar excesivo esfuerzo físico para girar el volante a bajas velocidades y al momento de aparcar el vehículo, mientras que a altas velocidades disminuye su rigidez debido a la influencia de los ángulos de caída y convergencia.

Entre tanto que los sistemas de dirección con asistencia hidráulica, disminuyen el esfuerzo que el conductor debe ejercer sobre el volante ya que se suma la fuerza del conductor más la fuerza hidráulica, por ende haciendo mucho más suave el giro del volante en circunstancias antes descritas.

El problema de la asistencia hidráulica se da a altas velocidades debido que al sumar la fuerza que brinda el sistema hidráulico más la fuerza aplicada por el conductor en el volante, se tiene un sistema de dirección muy blando.

Todos estos aspectos hacen que el sistema de dirección se vuelva muy blando y que el conductor con un leve esfuerzo cambie drásticamente de dirección, por ende esto se traduce en la pérdida de control, ocasionando un accidente grave a causa de la pérdida de sensibilidad sobre el volante.

Uno de los sistemas en donde se puede intervenir para mejorar la seguridad del coche es en el sistema hidráulico, para evitar el ablandamiento del volante en circunstancias en donde se requiere que el conductor tome el control del vehículo.

4.2.1 Pruebas de rigidez en el volante.

La medición del incremento de rigidez en el volante se realiza midiendo la fuerza que se aplica sobre este a diferentes velocidades, esta medición se la obtiene con la ayuda de un

dinamómetro, (Instrumento que mide peso), la medición se hace girando el volante con el dinamómetro acoplado en el mismo, ver Fig. 84.

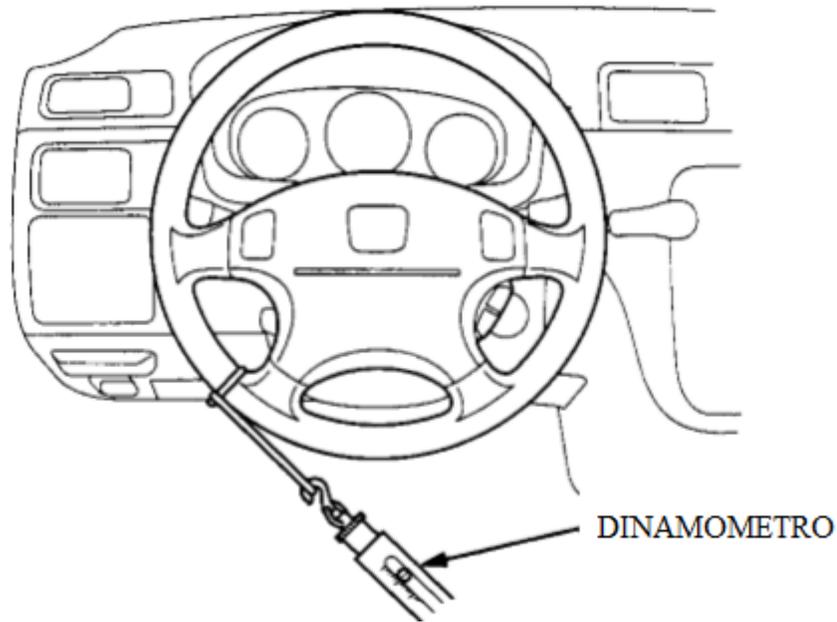


Fig. 84. Toma de fuerza aplicada sobre el volante
Fuente: Fuente: Honda CRV 1997-2000 MANUAL DE SERVICIO

La obtención de las medidas de fuerza que se aplica sobre el volante se hace de dos formas, la primera sin el módulo de control electrónico del sistema de dirección, y la segunda con el módulo de control electrónico instalado, el objetivo es saber cuál es el comportamiento del sistema de dirección con y sin el sistema de control electrónico.

4.2.1.1 Comportamiento de la dirección hidráulica al aplicar fuerza sobre el volante a distinta velocidad

El comportamiento del sistema de dirección a diferente velocidad se describe a continuación:

Al momento de conducir por curvas moderadas se puede tomar las mismas a una velocidad que comprende de 40 a 70 km/h, pero las curvas cerradas se las toma a velocidades menores a 40 km/h para poder maniobrar con seguridad la dirección del vehículo, mientras que en curvas abiertas al no necesitar de una gran giro del volante

estas se las puede tomar a velocidades mayores a 70 km/h teniendo en cuenta el límite de velocidad establecida, por la comisión de tránsito.

Una vez considerados los aspectos anteriores se procede a realizar las mediciones de la fuerza que se requiere para mover el volante a diferente velocidad, tomando en consideración que dicha medida se puede hacer en curvas de giro leves y curvas moderadas.

La medición de fuerzas sin control electrónico se realiza cada 10Km/h, se hacen varias pruebas para obtener un promedio de fuerza a distinta velocidad y de esta manera se establece una fuerza promedio, ver Tabla 21.

Tabla 21. Toma de Medidas de Fuerza en Curvas de Giro Leve y de Giro Moderado
Fuente: Los autores

Velocidad [Km/h]	Toma de medidas de fuerza en Newton [N],						Fuerza promedio [N]
	Curvas de giro moderado			Curvas de giro leve			
20	12,26	14,72	14,72	17,17	17,17	17,17	15,53
30	12,26	12,75	14,72	14,72	17,17	17,17	14,80
40	12,26	13,24	14,72	17,17	17,17	17,17	15,29
50	9,81	13,24	14,72	14,72	17,17	17,17	14,47
60	7,36	9,81	12,26	13,24	14,72	14,72	12,02
70	7,36	7,36	9,81	12,26	14,72	16,87	11,40
80	2,94	4,91	7,36	5,93	9,81	14,72	7,61
90	2,45	4,91	4,91	4,91	7,36	9,81	5,72

Con la ayuda de los datos obtenidos en la Tabla 21, se realiza el ajuste de curvas para visualizar el comportamiento de la dirección sin el sistema de control de dirección, de esta forma se sabe cuándo el volante se vuelve excesivamente blando.

En el ajuste de la curva se usa una línea de tendencia polinómica de orden 2, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9781$, que da un ajuste adecuado para su análisis, ver Fig. 85.

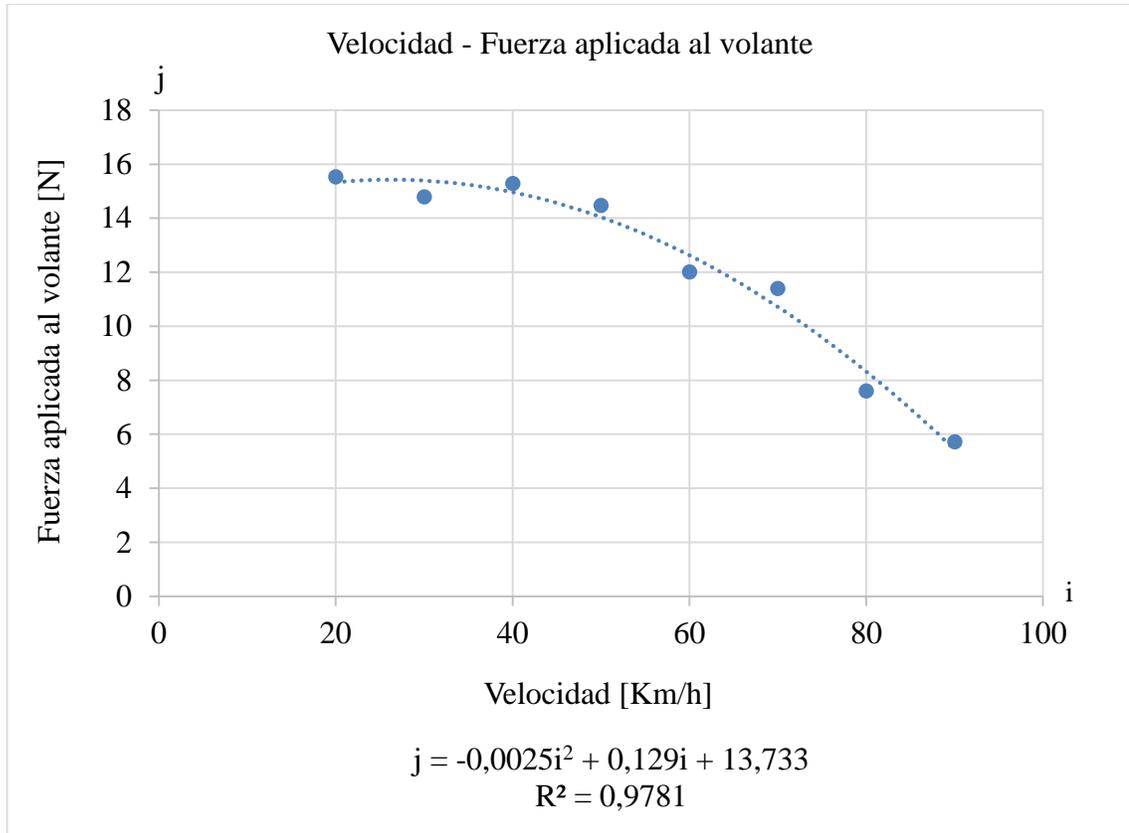


Fig. 85. Fuerza Aplicada Sobre el Volante a Diferentes Velocidades, Sin Control Electrónico
Fuente: Los autores

Se puede observar que la fuerza que se aplica sobre el volante es similar desde los 20 Km/h hasta los 50 Km/h, y después la fuerza comienza a decrecer ya que a estas velocidades se realizan giros leves del volante, por lo que no se realiza mayor esfuerzo por parte del conductor.

4.2.1.2 Comportamiento de la dirección con el sistema de control electrónico implementado que optimiza la dirección hidráulica del vehículo.

Esta medición se realiza de manera similar al sistema sin control electrónico, tomando varios datos y posteriormente obteniendo la media aritmética, ver Tabla 22.

Tabla 22. Velocidad vs Fuerza con el Sistema de Control Electrónico Implementado
Fuente: Los autores

Velocidad [Km/h]	Toma de medidas de fuerza en Newton [N],						Fuerza promedio [N]
	Curvas de giro moderado			Curvas de giro leve			
20	12,26	14,72	14,72	17,17	17,17	17,17	15,53
30	14,72	17,17	17,17	19,62	24,53	26,98	20,03
40	14,72	17,17	24,53	26,98	26,98	26,98	22,89
50	17,46	23,05	22,07	24,53	26,98	26,98	23,51
60	14,72	17,17	19,62	22,07	24,53	26,98	20,85
70	17,17	17,17	19,62	22,07	24,53	26,98	21,26
80	13,24	14,72	19,62	22,07	24,53	24,53	19,78
90	12,26	14,72	17,17	22,07	24,53	24,53	19,21

La razón de hacer de manera similar con el sistema de control electrónico de la dirección es para establecer diferencias y saber si se tiene o no beneficios con el sistema de control implementado.

Con los datos de la Tabla 22 se procede a realizar el ajuste de curva, para saber el comportamiento de la dirección con el sistema de control electrónico, y de esta forma saber cuánto se gana en seguridad.

En el ajuste de la curva se usa una línea de tendencia polinómica de orden 3, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9439$, que da un ajuste adecuado para su análisis, ver Fig. 86.

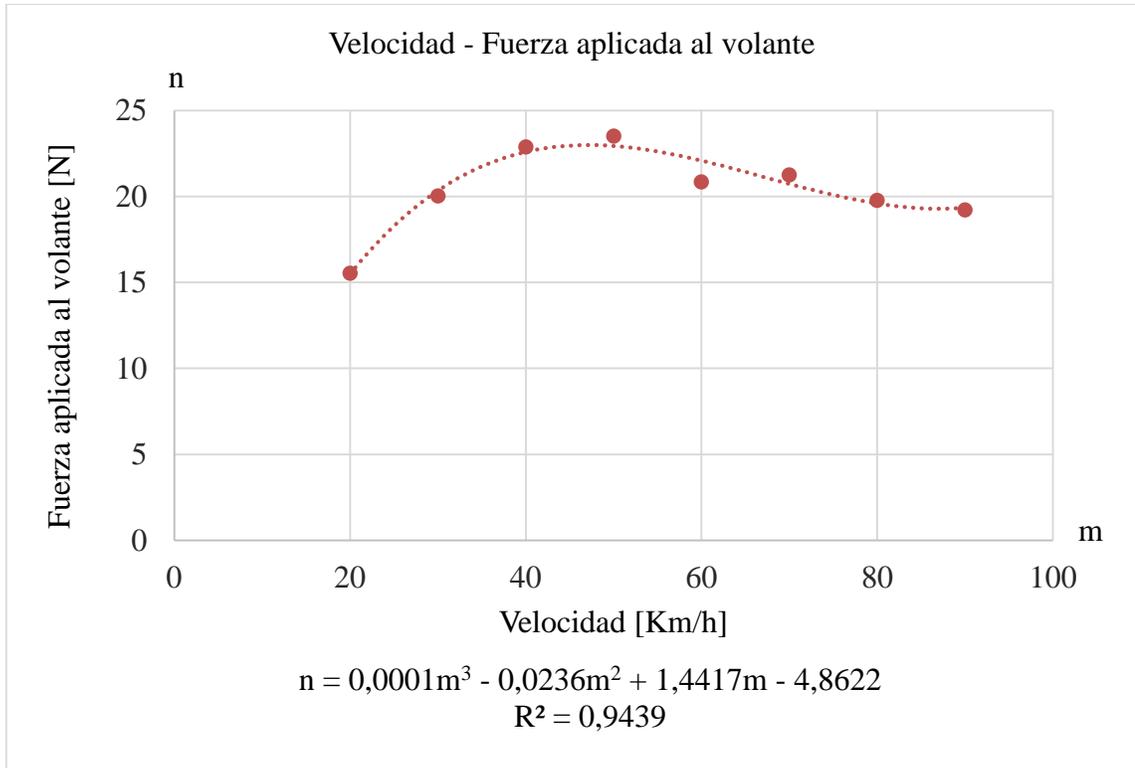


Fig. 86. Fuerza Aplicada Sobre el Volante a Diferentes Velocidades, Con el Control Electrónico
Fuente: Los autores

Se puede observar claramente que la fuerza que se aplica sobre el volante de la dirección aumenta progresivamente hasta llegar a una velocidad de 50 Km/h, manteniéndose prácticamente constante a partir de esta velocidad.

4.2.1.3 Análisis de resultados del sistema de dirección sin optimización y con optimización del sistema de dirección.

En lo que respecta a esta parte, si la fuerza que se aplica en el volante es mayor a alta velocidad, y la fuerza que se aplica en el volante a baja velocidad se mantiene, se puede decir que se mejoró ostensiblemente en lo que es seguridad y confort en la conducción, para esto se analizan las curvas con el sistema de dirección sin optimización y con optimización del sistema de dirección, ver Fig. 87.

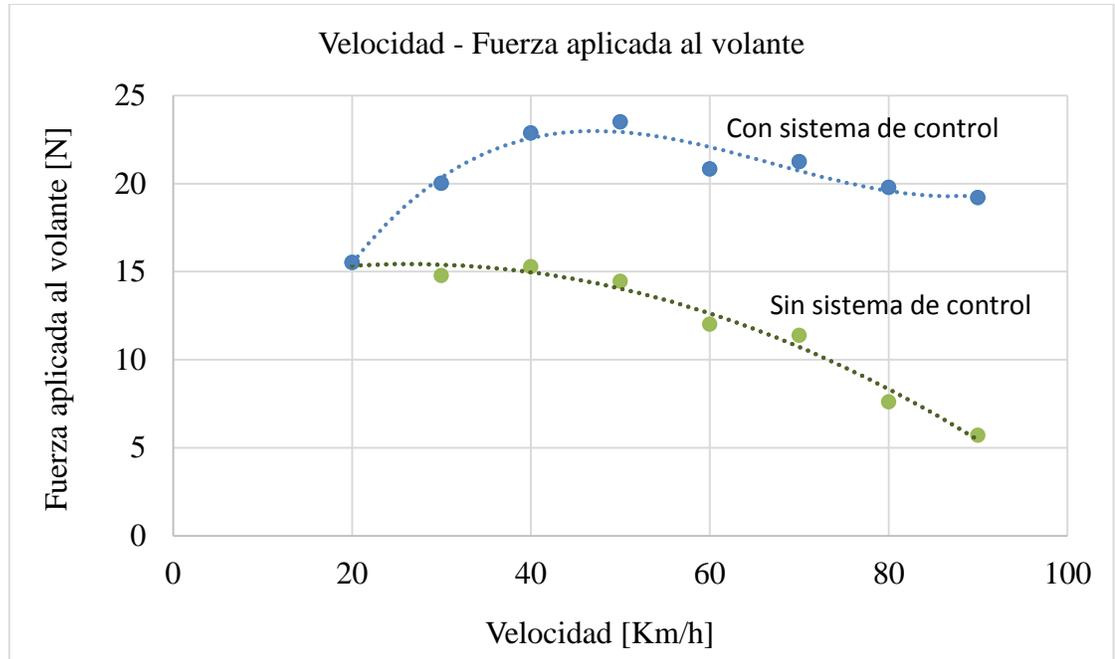


Fig. 87. Medición de Fuerza Aplicada Sobre el Volante, Con y Sin el Control Electrónico
Fuente: Los autores

La curva de color verde represente la fuerza aplicada sobre el volante de dirección a diferentes velocidades sin el sistema de control de la misma, mientras que la curva de color azul representa la fuerza que se aplica en el volante de dirección con el sistema de control implementado.

En las curvas presentes en la Fig. 87, se observa que con el control electrónico se logra incrementar la fuerza que se aplica en el volante de la dirección, todo esto a distinta velocidad.

Tomando en cuenta que al incrementar la velocidad, se necesita que la fuerza que se aplica en el volante debe ser menor, esto quiere decir que el conductor tenga el control del vehículo a altas velocidades, pues entonces se puede decir que se logra dicho objetivo.

4.3 MEDICIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

El análisis del consumo de combustible tiene por objetivo determinar si disminuye o no el consumo de combustible con la implementación del sistema de control electrónico de

la dirección, ya que con este sistema de control la bomba del sistema de dirección funciona en los momentos precisos, por lo que utiliza menos potencia del motor de combustión interna dando como resultado una disminución en el consumo de combustible.

4.3.1 Métodos de medición de consumo de combustible.⁵⁵

Existen métodos experimentales para determinar el consumo de combustible tales como, método de tanque lleno y el método de la varilla calibrada.

4.3.1.1 Método de tanque lleno.⁵⁵

El método de tanque lleno es el método más sencillo, se requiere que el tanque de combustible este lleno al inicio y al final de la prueba, posteriormente se realiza una relación con el espacio recorrido por el vehículo, el proceso es el siguiente:

- a) Llenar completamente el tanque de combustible al inicio de la prueba.
- b) Registrar el odómetro en cero.
- c) Seleccionar el conductor para que realice la prueba, para que el hábito de conducción sea el mismo y no haya problemas en la medición.
- d) Al finalizar la prueba se debe volver a llenar el tanque de combustible, y registrar la cantidad de combustible consumido durante la prueba.
- e) Registrar la distancia recorrida del vehículo.
- f) Cálculo del consumo específico de combustible, dividiendo la cantidad de combustible consumido entre la distancia recorrida.

La prueba antes descrita debe realizarse con un mínimo de cinco veces para comprobar que los resultados sean similares, adicionalmente se tiene la tabla para registrar los datos del consumo, dirigirse al Anexo 9 para observar dicha tabla.

⁵⁵ <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/92/6/Capitulo1.pdf>, P 12.

4.3.1.2 Método de la varilla calibrada.⁵⁶

Para realizar la medición con este método se requiere de una varilla calibrada, pero no es exacta debido a que esto depende de muchos factores entre ella la posición del vehículo, a continuación se describe el procedimiento.

- a) Colocar el vehículo en un lugar nivelado.
- b) Diseñar las varillas de medición cuando el vehículo se encuentre en reparación.
- c) Retirar todo el combustible del depósito
- d) Retirar el tanque de combustible del vehículo para realizar la limpieza interior del mismo
- e) Con el tanque limpio se ubica al vehículo en la posición de trabajo.
- f) Llenar 5 galones de gasolina en un depósito, luego colocar la gasolina en el tanque lentamente de manera que el combustible este lo más quieto posible para realizar la medición.
- g) Con la varilla graduada se procede a medir la altura del combustible agregado en el depósito la medida es en cm/gal, repetir el proceso hasta que el tanque este completamente lleno.
- h) Se toma los datos de las medidas de volumen, y longitud que marca la varilla de acero, por cada cinco galones de combustible agregados al depósito.
- i) Con la varilla calibrada procedemos a codificarla con el número de código de la unidad evaluada.

El registro de datos se realiza con el mismo formato de datos de la tabla presente en el Anexo 9.

4.4 PRUEBAS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Las pruebas de consumo de combustible se realizan por el método del tanque lleno, por su facilidad de realización ya que no requiere de ninguna modificación del sistema de combustible del vehículo.

⁵⁶ <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/92/6/Capitulo1.pdf>, P 14.

Se hacen varias pruebas de manejo en carretera para determinar el consumo, dichas pruebas se efectúan en circunstancias tales como, manejo en autopista y en ciudad, además las pruebas se ejecutan con y sin el sistema de control de la dirección implementado.

4.4.1 Pruebas de consumo en aparcamiento sin el módulo de control de dirección.

Para la prueba de aparcamiento se toma como principal aspecto los momentos en los que se llega con el volante de dirección a sus topes mecánicos, circunstancia en la cual se tiene la máxima presión en el sistema de dirección.

Un punto importante a recalcar es que la máxima presión del sistema hidráulico de la dirección es de 6,8 MPa, esta presión se origina cuando el volante se encuentra en sus topes mecánicos, dicha presión no se necesita ya que en estas circunstancias no se requiere de ninguna asistencia, ver Fig. 88.



Fig. 88. Presión del Sistema de Dirección Hidráulica Sin el Sistema de Control en su Tope Mecánico
Fuente: Los autores

Con el sistema de control de la dirección, al activar la electroválvula en los topes, se deja sin asistencia hidráulica al sistema de dirección, con esto no se tiene presión en el sistema hidráulico, por lo que se deja de consumir potencia del motor de combustión interna y el resultado es una disminución en el consumo de combustible, ver Fig. 89.

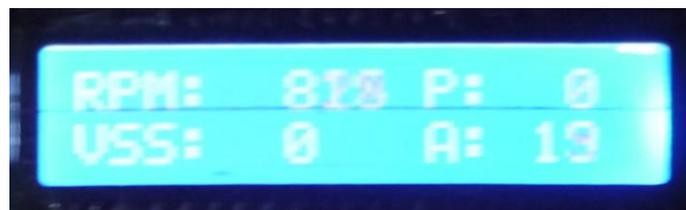


Fig. 89. Presión del Sistema de Dirección Hidráulica Con el Sistema de Control en su Tope Mecánico
Fuente: Los autores

En estas pruebas es difícil poder realizar un control de consumo por kilómetros u horas recorridas, dado que el aparcamiento se lo realiza pocas veces al día, y en la mayor parte de aparcamientos no se requiere de un giro del volante de extremo a extremo, que es en donde actúa el sistema de control electrónico de la dirección, razón por la que no se puede hacer el control de consumo.

4.4.2 Pruebas de consumo en ciudad sin el sistema de control implementado.

Las pruebas en ciudad se hacen tomando en cuenta las horas y los kilómetros recorridos por el vehículo, se toma como referencia a las horas recorridas debido a que en esta condición es más exacta la medición, esto se debe a que se producen paradas en semáforos, en vías secundarias y el consumo varia si se hace considerando únicamente kilómetros ya que pueden existir más o menos kilómetros con el mismo tiempo recorrido.

Los datos se registran en la ficha de consumo de combustible, los mismos están tabulados en la Tabla 23.

Tabla 23. Datos de Consumo en Ciudad sin el Sistema de Control de la Dirección
Fuente: Los autores

Prueba	Tiempo recorrido [h]	Kilómetros recorridos [Km]	Medida [l]	Consumo [h/l]
1	3,90	62,20	4,50	0,87
2	2,80	45,40	3,32	0,84
3	3,55	49,90	4,23	0,84
4	3,25	51,50	3,94	0,82
5	3,45	53,30	4,27	0,81
6	3,30	47,80	4,12	0,80
7	3,70	59,60	4,71	0,79

4.4.3 Pruebas de consumo en ciudad con el sistema de control implementado.

Las pruebas de consumo en ciudad con el sistema de control implementado se hace de manera similar, a las pruebas sin el sistema de control, se hace de esta manera para establecer diferencias entre una y otra circunstancia, ver Tabla 24.

Tabla 24. Datos de Consumo en Ciudad con el Sistema de Control de la Dirección

Fuente: Los autores

Prueba	Tiempo recorrido [h]	Kilómetros recorridos [Km]	Medida [l]	Consumo [h/l]
1	3,50	54,20	3,95	0,89
2	4,12	61,60	4,79	0,86
3	3,17	49,50	3,69	0,86
4	2,70	42,80	3,17	0,85
5	2,90	39,50	3,42	0,85
6	3,20	50,30	3,87	0,83
7	2,58	43,40	3,38	0,76

4.4.4 Análisis estadístico para verificar si existe disminución de consumo de combustible en la conducción por ciudad.

La verificación de que el consumo de combustible disminuye o no al circular por ciudad, se realiza con un método estadístico denominado prueba de hipótesis, el mismo que es escogido porque se requiere apreciar si existen diferencias significativas del consumo de combustible sin y con el sistema de control de la dirección. Para medir estas diferencias en el consumo de combustible se procede con el análisis ANOVA.

A continuación se de una breve explicación de la prueba de hipótesis y del análisis ANOVA:

4.4.4.1 Prueba de Hipótesis.⁵⁷

El objetivo de la prueba de hipótesis es la comparación estadística de parámetros de diferentes poblaciones. Esta comparación involucra la toma de decisión acerca de las hipótesis. La decisión consiste en rechazar o no una hipótesis en favor de la otra.

Una hipótesis estadística se denota por “H” y son dos:

- H_0 : hipótesis nula
- H_1 : hipótesis alternativa

4.4.4.2 Análisis de la varianza ANOVA

El análisis de la varianza ANOVA es una prueba paramétrica que requiere una serie de supuestos para poder ser aplicada correctamente. Es una técnica estadística que sirve para determinar si las diferencias que existen entre las medias entre los grupos son estadísticamente significativas. El análisis de la varianza (ANOVA) es una técnica estadística de contraste de hipótesis.^{58, 59}

En el análisis Anova se divide el efecto debido a la pertenencia de los grupos (varianza entre grupos) respecto a la dispersión debida al azar o error aleatorio (varianza dentro de los grupos), obteniendo un cociente que se le denomina F_{cal} , que se lo compara con el F de Fisher-Snedecor (distribución de probabilidad continua), que se la obtiene de la tabla de distribución F , ver tabla 27.⁵⁹

Si la diferencia entre F_{cal} y F de la tabla de distribución sobrepasa cierto valor crítico, entonces podremos afirmar que el efecto observado es demasiado grande y por tanto no todos los grupos estudiados tienen la misma media.⁵⁹

⁵⁷ <http://es.scribd.com/doc/82253086/UNIDAD-IV-PRUEBAS-DE-HIPOTESIS-CON-DOS-MUESTRAS-Y-VARIAS-MUESTRAS-DE-DATOS-NUMERICOS>

⁵⁸ <http://scientific-european-federation-osteopaths.org/es/prueba-estadisticas>

⁵⁹ <http://epidemiologiamolecular.com/prueba-anova-comparacion-medias-grupos/>

4.4.4.3 Análisis del consumo de combustible en la conducción por ciudad usando la prueba de hipótesis estadístico con la Tabla Anova.

Para realizar el análisis de hipótesis estadístico se usan las tablas de consumo con y sin el sistema implementado, ver Tabla 25.

Tabla 25. Datos de Consumo en Ciudad Con y Sin el Sistema de Control
Fuente: Los autores

Muestra	Consumo sin sistema de control (h/l)	Consumo con sistema de control (h/l)
1	0,867	0,887
2	0,844	0,860
3	0,840	0,858
4	0,825	0,847
5	0,807	0,826
6	0,800	0,764
7	0,785	0,812

Una vez determinados los datos a utilizar, se debe plantear una hipótesis nula y una alternativa. Se toma como hipótesis nula al dato de consumo sin sistema de control, ya que de no variar el consumo al implementar el sistema de control esta es la que se acepta, pero al variar el consumo con el sistema de control implementado se acepta la hipótesis alternativa.

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ Consumo no varía.

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ Consumo varía.

Donde $\mu_2 = 0,824$ h/l, valor medio de consumo sin el sistema de control electrónico de la dirección.

Para poder aceptar o no las hipótesis planteadas, se debe construir la tabla Anova, ver Tabla. 26.

Tabla 26. Formulas de la Tabla Anova

Fuente: <http://ocw.um.es/ciencias/estadistica-en-el-grado-de-ciencia-y-tecnologia-de/material-de-clase-1/cyta-estadistica-tema8.pdf>

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	F_{cal}
Factor	$SCF = \sum \frac{ci^2}{ki} - \frac{(\sum x)^2}{n}$	c - 1	$CMF = \frac{SCF}{c-1}$	$\frac{SMF}{CME}$
Error	$SCE = \sum x^2 - \sum \frac{ci^2}{ki}$	n - c	$CME = \frac{SCE}{c-1}$	
Total	SCT = SCF-SCE	n - 1		

En donde:

- Ci = Suma de datos de cada columna
- Ki = Número de datos en cada columna
- x = Datos originales
- c = Número de columnas
- n = Número total de datos

Con las formulas de la tabla Anova se procede a calcular la dispersiones para ser comparadas mediante una prueba de hipótesis F, ver Tabla 27.

Tabla 27. Tabla Anova Llenada

Fuente: Los autores

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	F_{cal}
Factor	0,0011430	1	0,0011430	0,9841240
Error	0,0139375	12	0,0011615	
Total	0,0150805	13	0,0011600	

Con la ayuda de la tabla de distribución F presente en el Anexo 10, se ubican los datos de grados de libertad del numerador y del denominador con un 5% de probabilidad de rechazo, obteniendo un valor crítico $F(i, j) = F(1; 12; 0.05) = 4.75$, que debe ser comparado con el valor de F_{cal} .

Una vez determinado nuestra F de la tabla presente en el Anexo 10, se ubica el valor crítico en la curva, y se la compara con F_{cal} , ver Fig. 90.

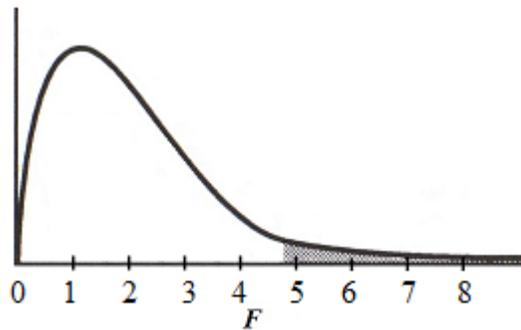


Fig. 90. Valor de Estadística de Prueba
Fuente: Los Autores

Dado que ya se identifica todos los puntos en la curva, ahora se procede a la toma de decisión.

Decisión: El valor F_{cal} se ubica a la izquierda del valor crítico, por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, es decir que el consumo es parecido con y sin placa, se puede decir también que el consumo varía pero en pequeña proporción.

4.4.5 Pruebas de consumo en vía rápida sin el sistema de control electrónico.

Las pruebas de consumo en vía rápida se hacen considerando los kilómetros recorridos, se realiza de esta manera debido a que en vía rápida no existen una gran cantidad de semáforos y mucho menos señales de tránsito de pare, por lo que resulta conveniente hacer evaluando simplemente el consumo en kilómetros recorridos, ver Tabla 28.

Tabla 28. Datos de Consumo en Ciudad
Fuente: Los autores

Prueba	Tiempo recorrido (h)	Kilómetros recorridos (Km)	Medida (l)	Consumo (Km/l)
1	1.4	73.8	6.283	11.746
2	1.7	101.5	8.475	11.976
3	3	160.3	12.973	12.356
4	1.5	85.3	7.180	11.880
5	0.8	49.4	4.219	11.708
6	1.6	95.4	7.829	12.185
7	1.5	86.2	7.271	11.855

4.4.6 Pruebas de consumo en vía rápida con el sistema de control implementado.

Las pruebas en vía rápida con el sistema de control implementado se hace considerando los kilómetros recorridos por el coche dado que en esta circunstancia es más preciso medir el consumo de esta manera, los datos adquiridos se observan en la Tabla 29.

Tabla 29. Datos de Consumo en Vía Rápida con el Sistema de Control
Fuente: Los autores

Prueba	Tiempo recorrido (h)	Kilómetros recorridos (Km)	Medida (l)	Consumo (Km/l)
1	1.25	73.7	6.214	11.860
2	1.75	101.3	8.383	12.084
3	2.8	158.5	12.339	12.845
4	1.49	85.5	7.272	11.757
5	0.68	51.1	4.145	12.328
6	1.62	94	8.123	11.572
7	1.48	87	7.442	11.690

4.4.7 Análisis de consumo de combustible en conducción por vías rápidas usando la prueba de hipótesis estadística con la Tabla Anova.

El análisis es similar al caso anterior, en donde se utiliza los datos de consumo en Km/l, los datos de consumo que se observan en la Tabla 30 son con y sin sistema de control electrónico, por ende lo que se busca es, saber si se consume más o menos combustible, al circular por vía rápida.

Tabla 30. Datos de Consumo en Vía Rápida Con y Sin el Sistema de Control
Fuente: Los autores

Muestra	Consumo sin sistema de control (Km/l)	Consumo con sistema de control (Km/l)
1	12,356	12,845
2	12,185	11,572
3	11,976	12,084
4	11,880	11,757
5	11,855	11,690
6	11,746	11,860
7	11,708	12,328

El siguiente paso para realizar el análisis estadístico consiste en plantear una hipótesis nula H_0 y una alternativa H_1 , tomando en este caso H_0 al valor del consumo sin sistema de control electrónico y la alternativa H_1 es la contraria a este valor.

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ En promedio el consumo es el mismo

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ En promedio el consumo no es el mismo.

Donde $\mu_2=11,958$, valor medio de consumo sin el sistema de control electrónico de la dirección.

Ahora se procede a determinar la tabla Anova con los datos de la muestra, ver Tabla 31.

Tabla 31. Datos de Consumo en Vía Rápida Con y Sin el Sistema de Control
Fuente: Los autores

Fuente	suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	F _{cal}
Entre laboratorios	0,013	1,000	0,013	0,104
Dentro de los laboratorios	1,518	12,000	0,127	
Total	1,532	13,000	0,118	

Con los datos de grados de libertad de la Tabla Anova, se ubica el valor crítico de la tabla contenida en el Anexo 10, con 1 grado de libertad en el numerador, 12 en el denominador y un porcentaje de confiabilidad de 5%, se tiene un valor crítico $F(1; 12; 0.05) = 4.75$ el cual se lo compara con el valor de $F_{cal} = 0,104$ de la Tabla Anova, para posteriormente tomar la decisión de aceptar o no la hipótesis, ver Fig. 91.

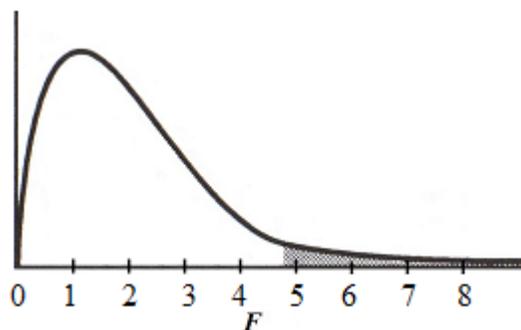


Fig. 91. Ubicación del Punto Crítico en la Curva
Fuente: Los autores

Decisión.- Como se puede ver en la Fig. 91 F_{cal} está dentro del área de la curva por lo tanto se acepta la hipótesis nula, es decir que en promedio el consumo de combustible con y sin el sistema implementado es similar en vía rápida. Pero existe una pequeña diferencia que estadísticamente es significativa, dando como resultado una disminución de combustible muy reducida.

4.5 ESTUDIO DE RESULTADOS DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE ACUERDO AL ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Una vez realizado el análisis estadístico con prueba de hipótesis, se concluye que al realizar siete pruebas en ciudad con y sin el sistema de control, tomando en consideración las horas recorridas, se tiene una variación de consumo mínima. Se tiene entonces que en ciudad se reduce 0.018 h/l, ver Tabla 32.

Por otro lado al realizar el análisis estadístico con prueba de hipótesis para vía rápida, se puede decir que el consumo que se da con el sistema de control electrónico de la dirección se reduce en un 0.061Km/l, que estadísticamente es despreciable, ver Tabla 33

Tabla 32. Diferencia de Consumo de Combustible en Ciudad
Fuente: Los autores

	Consumo Sin Placa	Consumo Con Placa
Promedio (h/l)	0,82404	0,8421
Diferencia	0,01807	
Ahorro	0,01807 horas por cada litro de combustible	
Promedio (l/km)	0,07887655	0,7724113
Diferencia	0,00163541	
Ahorro	0,1635 litros por cada 100 Km	

Tabla 33. Diferencia de Consumo de Combustible en Vía Rápida
Fuente: Los autores

	Consumo Sin Placa [l/Km]	Consumo Con Placa [l/Km]
Promedio	0,0837	0,0833
Diferencia	0,00036037	
Ahorro	0,036 l por cada 100 Km	

CAPITULO V

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.

5.1 INTRODUCCIÓN.

Con el análisis de Costo Beneficio del proyecto “Diseño, construcción e implementación de un sistema de control electrónico para optimizar el sistema de dirección hidráulica del vehículo honda CRV del año 1998”, se tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de la rentabilidad del mismo, mediante la comparación de los costos en su implementación con los beneficios esperados en la utilización de dicho sistema.

No solo se tiene en cuenta aspectos económicos, sino que también se toma en cuenta la seguridad que se gana al implementar este tipo de sistema de control en la dirección, además de la satisfacción que obtiene el usuario.

Para cumplir lo antes mencionado se inicia con la cuantificación de los costos en la implementación del sistema de control, después se establece los beneficios de una manera contable, ya que los beneficios no son solo de carácter económico, sino que se obtiene una ganancia en la seguridad pasiva del vehículo y del confort en la conducción.

Una vez obtenido valores económicos de los costos y de los beneficios, se procede a analizar la rentabilidad del sistema implementado, mediante la obtención de una relación beneficio/costo, si dicha relación es mayor a uno el sistema es rentable, si es igual a uno el sistema no da ninguna ganancia, y si es menor a uno el sistema no es rentable.

5.2 ESTUDIO DE LA SITUACIÓN CON EL PROYECTO IMPLEMENTADO.

Se hace un análisis de la duración del proyecto implementado tomando en cuenta cada uno de sus componentes, y así establecer la vida útil del proyecto, ya que si se avería tan solo uno de sus elementos esto conlleva a un mal funcionamiento del sistema de control de la dirección.

Se da una explicación de los costos y beneficios que intervienen en la realización del proyecto, dando a conocer el costo de cada uno de los componentes que conforman el sistema de control electrónico de esta forma se puede establecer de manera adecuada el costo de implementación del proyecto.

5.2.1 Vida útil del proyecto.

Para determinar cuál es el tiempo que dura el proyecto implementado en el coche, se da a conocer componente a componente, con su respectivo tiempo de duración, una vez que se determina el tiempo de duración de cada elemento, se toma en consideración, que la duración del sistema implementado es hasta cuando el elemento que menos dure se averíe.

En términos contables la vida útil del proyecto es hasta cuando el mismo de únicamente beneficios y no genere pérdidas por mantenimiento u otra situación, a continuación se da a conocer en la Tabla 34 la vida útil de cada componente del sistema de control electrónico.

Tabla 34. Vida Útil del Sistema de Control Electrónico
Fuente: Los autores

Componentes Hidráulicos	Cantidad	Vida Útil (Años)
Cañería de alta presión ⁶⁰	1	6-7 Años
Cañería de retorno ⁶⁰	1	6-7 Años
Acoples hidráulicos ⁶⁰	-----	6-7 Años
Electroválvula ⁶¹	1	8 Años
Sensor de presión ⁶²	1	7 Años
Componentes Mecánicos		
Placa soporte para la electroválvula	1	7 Años

⁶⁰ http://rescatevehicular.org/index.php?option=com_content&view=article&id=410%3Aseguridad-en-las-mangueras-hidraulicas-parte-i&catid=99%3Aarticulos&Itemid=474

⁶¹ <http://ainsa.com.ec/productos/hidraulica/kompass/valvulas/valvulas-accionamiento-electrico.html>

⁶² <http://www.swissesor.com/presion.html>

Placa soporte para el sensor de ángulo de giro	1	7 Años
Piñón de grilon ⁶³	1	10 Años
Componentes Electrónicos		
Cable multipar ⁶⁴	-----	5 Años
Microcontrolador ⁶⁵	2	10 Años
Circuito impreso	1	10 Años
Componentes electrónicos	-----	10 Años

El tiempo de duración del proyecto ronda entre los seis años, dado que es el tiempo que menos dura uno de sus elementos.

5.3 ANÁLISIS DE COSTOS.

Realizar el análisis costos es una tarea muy importante ya que permite determinar exactamente cuánto es el dinero invertido en el proyecto, dando a conocer todos los costos fijos, variables así como mano de obra directa e indirecta. Es conveniente por ende definir conceptos de todos los ítems antes mencionados.

5.3.1 Costo.⁶⁶

El costo es el gasto económico que representa para producir un bien o servicio, cuando se trata de un costo de producción, se debe tomar en consideración el costo de la materia prima, el costo de la mano de obra y la parte de los costos de la inversión del capital, el cual se usa para producir el bien. Se tiene los siguientes tipos de costos:

5.3.1.1 Costos variables.⁶⁷

Los costos variables son costos que cambian con el nivel de producción.

⁶³ http://www.tisatransmisiones.com.ar/prod_plasticos.html

⁶⁴ http://www.neotecnica.es/Catalogos/ACTUALES/NTI/Taller_ML1.pdf

⁶⁵ <http://www.bairesrobotics.com.ar/data/pic16f877-guia%20detallada%20parte3.pdf>

⁶⁶ http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1055/3/CAPITULO_II.pdf

⁶⁷ <http://www.slideshare.net/linocup/costos-fijos-y-costos-variables>

5.3.1.2 Costo fijo.⁶⁸

Estos costos no varían con el volumen de venta o de producción de un artículo.

5.4 BENEFICIOS.⁶⁹

Los beneficios son la ganancia producidos en el curso de una operación o la realización de un producto o bien, durante un período de tiempo determinado.

5.5 PROCESO PARA DETERMINAR LA RELACIÓN COSTOS-BENEFICIO.

Para realizar el análisis costo-beneficio del proyecto optimización del sistema de dirección hidráulica se empieza, calculando el valor actual (VA) de los costos y beneficios, que en lo posterior permite determinar una relación beneficio-costo.

El cálculo del valor actual se hace utilizando la fórmula del interés compuesto

$$S = C(1 + i)^n$$

$$C = S(1 + i)^{-n}$$

S = Monto, C = Capital, i = Tasa de descuento, n = Numero de años

En donde el monto es igual al capital más los ingresos, capital es el dinero que se dispone que también pueden ser recursos físicos, la tasa de descuento es el interés que se gana al depositar el dinero en el banco que es del 5.35% anual, de acuerdo al dato obtenido del banco central del ecuador, por ultimo esta n que es el número de años al cual se hace la proyección del diseño.

⁶⁸ <http://www.promonegocios.net/costos/costos-fijos.html>

⁶⁹ <http://www.definicionabc.com/general/beneficio.php>

5.5.1 Determinación del costo beneficio mediante cálculo.⁷⁰

La obtención del costo beneficio mediante cálculo, se hace con la división del valor actual de los ingresos (VAI) entre el valor actual del costo (VAC).

$$\frac{B}{C} = \frac{VAI}{VAC}$$

Según el análisis costo-beneficio, un proyecto es rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad.

$$\frac{B}{C} > 1$$

Proceso a seguir para establecer el cálculo costo beneficio:

- Hallar los costos y beneficios concernientes al proyecto.
- Convertir los costos y beneficios en un valor actual.
- Hallar la relación costo-beneficio.
- Analizar la relación costo-beneficio.

5.6 FIJACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO IMPLEMENTADO

A continuación se presenta todos los costos referentes a la construcción del sistema de control implementado, los mismos son costos fijos y costos variables.

5.6.1 Costos fijos del proyecto

En la Tabla 35 se presenta todos los costos fijos, que implican la realización del sistema de control electrónico, para la dirección hidráulica, los mismos que son viáticos, impresiones, costo de investigación y la gasolina.

⁷⁰ <http://www.crecenegocios.com/el-analisis-costo-beneficio/>

Tabla 35. Determinación de los Costos Fijos

Fuente: Los Autores

Determinación de los costos fijos			
Descripción	Proveedor	Unidad de medida	Costo
Viáticos	-----	Dólares	\$ 20,00
Impresiones	-----	Dólares	\$ 15,00
Costos de investigación.	Internet - Libros	Dólares	\$ 8,00
Gasolina	-----	Dólares	\$ 40,00
TOTAL.			\$ 83,00

5.6.2 Costos variables del proyecto

Todos los costos que hacen alusión a los costos variables, tales como electroválvula, potenciómetro multivuelta, sensor de presión, visualizador LCD, PIC 16F877, componentes electrónicos, cableado eléctrico, cañerías y acoples, se puede apreciar en la Tabla 36.

Tabla 36. Determinación de los Costos Variables

Fuente: Los Autores

Estimación de costos variables.				
Descripción	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Electroválvula	Unidades	1	\$ 256,16	\$ 256,16
Potenciómetro multivuelta	Unidades	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Sensor de presión	Unidades	1	\$ 300,00	\$ 300,00
Visualizador LCD	Unidades	1	\$ 10,00	\$ 10,00
PIC 16F877	Unidades	2	\$ 8,00	\$ 16,00
Componentes electrónicos	Varios		\$ 5,00	\$ 5,00
Cableado eléctrico	Metros	10	\$ 0,50	\$ 5,00
Cañerías	Metros	2	\$ 10,00	\$ 20,00
Acoples	Unidades	8	\$ 1,50	\$ 12,00
TOTAL:				\$ 644,16

5.6.3 Costos de mano de obra directa

En la Tabla. 37 se presentan los costos en dólares de la mano de obra directa, es decir todo lo necesario que se utiliza para realizar el proyecto.

Tabla 37. Determinación de los Costos de la Mano de Obra Directa
Fuente: Los Autores

Determinación de costos de mano de obra directa.				
Descripción	Unidad de medida	cantidad	Costo unitario	Costo total
Construcción del Circuito Impreso	Unidades	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Construcción de la Base para la electroválvula	Unidades	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Construcción del piñón del sensor de ángulo de giro	Unidades	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Programación	Unidades	1	\$ 100,00	\$ 100,00
TOTAL:				\$ 155,00

5.6.4 Costos de la mano de obra indirecta.

Dentro de los elementos del costo esta también los costos de mano de obra indirecta, los mismos que consumidas en el área de diseño, ver Tabla 38.

Tabla 38. Determinación de Costos de Mano de Obra Indirecta
Fuente: Los Autores

Estimación de costos de mano de obra indirecta.					
Descripción	Unidad de medida	de	cantidad	Costo unitario	Costo total
Diseño del sistema de control hidráulico	Dólares		1	\$ 25,00	\$ 25,00
Diseño del sistema hidráulico	Dólares		1	\$ 10,00	\$ 10,00
TOTAL					\$ 35,00

5.6.5 Costos operativos para el correcto funcionamiento del prototipo.

Los costos operativos son todos los costos que se requieren para poner en funcionamiento el sistema de control electrónico del sistema de dirección, es decir todos los costos que se requieren para que el sistema funcione correctamente, ver Tabla 39.

Tabla 39. Determinación de los Costos de Operación
Fuente: Los Autores

Estimación de los costos de operación.			
Descripción	Unidad de medida	Costo unitario	Costo total
Mantenimiento del sistema.	Dólares	\$ 20,00	\$ 20,00
Implementación del sistema de control	Unidades	\$ 38,00	\$ 38,00
TOTAL:			\$ 58,00

Una vez determinados todos los costos que intervienen en la realización e implementación del proyecto, optimización del sistema de dirección hidráulica para el vehículo Honda CRV, se procede a sumar todos los costos para obtener un total de \$ 975,16 que es el valor en dólares de la realización del proyecto implementado en el vehículo.

5.7 DETERMINACIÓN DE LOS BENEFICIOS SOCIALES QUE CAUSA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DE LA DIRECCIÓN.

Los beneficios que se obtiene al implementar el sistema de control electrónico son tangibles e intangibles por lo tanto se da a conocer uno a uno por separado.

5.7.1 Beneficios tangibles

Los beneficios tangibles son todos aquellos que se pueden cuantificar en unidades monetarias, es decir la única forma de tener un beneficio tangible al implementar el

proyecto es cuando se obtiene un ahorro económico, por lo que en este caso el beneficio tangible es el ahorro de combustible dando como resultado ahorro económico de dinero, otro beneficio que brinda ahorro económico para el país es la disminución en accidentes de tránsito.

5.7.2 Beneficios intangibles

Los beneficios intangibles son todos aquellos que no se pueden cuantificar en unidades monetarias, pero al ser beneficio se lo debe tomar en cuenta dentro del análisis costo beneficio, a continuación se da a conocer los beneficios intangibles que se obtiene al desarrollar el proyecto.

- a. Disminución de accidentes.-** Con la implementación del proyecto se logra disminuir los accidentes de tránsito, ya que al controlar la dirección del vehículo haciéndola más o menos rígida se logra que el conductor siempre este pendiente del volante con esto logrando evitar los accidentes.
- b. Aumento de confort.-** El aumento de comodidad y bienestar se da cuando el conductor a baja velocidad tiene el 100% de asistencia para poder mover las ruedas directrices haciéndolo blando al sistema de dirección, mientras que a alta velocidad, el control del sistema de dirección lo tiene el conductor.

5.7.3 Identificación, cuantificación y valoración de los beneficios del proyecto.

Los beneficios que trae la implementación del sistema de control de la dirección son un ahorro en el consumo de combustible, aumento en la seguridad pasiva, y un aumento en el confort del chofer.

5.7.3.1 Cuantificación de los beneficios por disminución de accidentes.

Para identificar los beneficios referentes a seguridad, lo primero es dar a conocer los gastos ocasionados al país por accidentes de tránsito, por lo que se tiene por año según la organización Covial es de \$ 600000000.⁷¹

El siguiente paso es identificar cuantos vehículos automóviles son los accidentados por año, dado que el proyecto está instalado en un vehículo automóvil, ver Tabla 40.

Tabla 40. Número de Vehículos Accidentados Entre el Año 2010 y 2011.
Fuente: Agencia Nacional De Tránsito Y Comisión De Tránsito Del Ecuador / EL COMERCIO.

	Año 2010	Año 2011
Numero vehículos accidentados	25588	22266
Gastos totales promedio por año	\$ 600,000,000	\$ 600,000,000
Promedio de vehículos accidentados	23927	
Gastos promedio vehículo accidentado.	\$ 25076.27	

De acuerdo a los datos de la tabla, el promedio de vehículos accidentados durante el año 2010 y 2011 es 23927, provocando un gasto de \$600 millones para el país, pero este dato para vehículos en general, es decir en donde constan, automóviles, camionetas, motocicletas y buses.

El número de automóviles accidentados según fuentes de periódicos digitales es de 10131 vehículos a nivel nacional.^{72 73}

Ahora se debe obtener una relación para ver cuánto es el gasto solo por vehículos automóviles con los datos anteriormente analizados, haciendo la relación se tiene que el gasto por accidentes para vehículos automóviles es de \$254.04 millones.

⁷¹ <http://paper.xalok.com/uploads/edicio-EC05282012/ECM20120528.003.pdf>

⁷² Agencia Nacional De Tránsito Y Comisión De Tránsito Del Ecuador / EL COMERCIO

⁷³ http://www.cte.gob.ec/wp-content/uploads/2013/02/INFORME_DE_ACCIDENTES_ENERO_NOVIEMBRE2012.pdf

Posteriormente se tiene que los porcentajes de accidentes de tránsito están encasillados en, factores humanos, factores relacionados con la visualización, factores relacionados con el vehículo, ver Fig. 92.

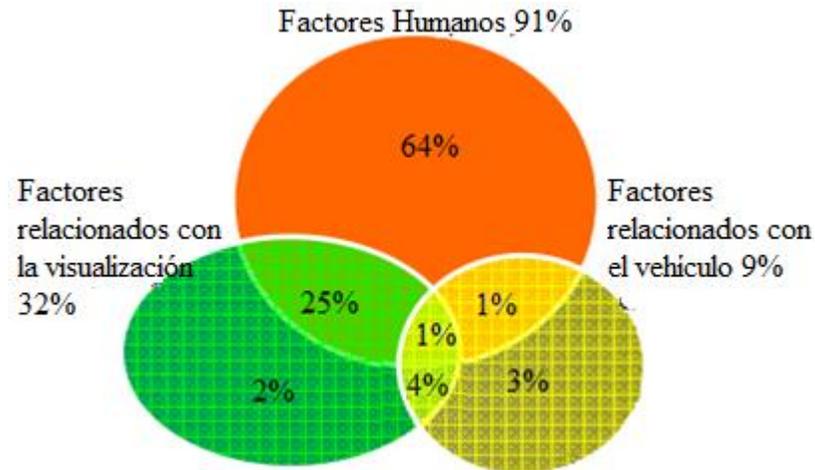


Fig. 92. Principales Causas de Accidentes
Fuente: Dr. Frank Navin, Collision Reconstruction

De donde el proyecto implementado busca reducir los accidentes de tránsito ocasionados por factores humanos y factores relacionados con el vehículo, representando el 1% de acuerdo a la Fig. 92.

Los vehículos automóviles accidentados considerando factores humanos y factores relacionados con el vehículo son 101.31 a nivel nacional de acuerdo a datos estadísticos, dando un gasto de \$2.540 millones, reduciendo todo este gasto al implementar el proyecto, y por ende es el beneficio.

5.7.3.2 Cuantificación del beneficio por ahorro de combustible.

Para determinar el beneficio por ahorro de combustible, se toman los datos del estudio estadístico realizado en el capítulo IV, en donde se tiene el consumo disminuye en 0.1635l por cada 100Km recorridos.

Pues bien para determinar al ahorro de combustible por año, se considera el kilometraje recorrido por el auto que es de 235456Km en 15 años, entonces para saber el recorrido

por años se realiza una división entre el kilometraje y los años, dando como resultado 15697 Km.

Con los datos obtenidos y sabiendo que el precio del galón de gasolina extra es de \$1.68, se establecen relaciones, dando como resultado un ahorro de combustible en 6.779 galones por año, este valor económicamente representa un valor de \$11.388, que es el beneficio cuantificado en dólares por ahorro de combustible.

5.8 CALCULO TOMANDO COMO BENEFICIO EL AHORRO DE COMBUSTIBLE Y COMO COSTO A LA ELABORACION DE UN PROTOTIPO.

El cálculo de costo beneficio se hace tomando en cuenta que se elabora un prototipo, en donde en el año cero se invierte \$118 (la suma de los costos fijos y la mano de obra indirecta) para desarrollar el proyecto, para determinar el costo total del proyecto a este valor se debe adjuntar la suma de los costos de operación, costos variables y mano de obra directa dando como resultado \$857.16.

En la Tabla 41 se puede observar la inversión en el año cero, mientras que en el primer año se observa el precio de elaborar un sistema de control después del diseño, para el año dos hasta el año seis, se tiene el valor del costo de mantenimiento.

Tabla 41. Datos para el Cálculo del Valor Actual
Fuente: Los Autores

PERIODO (AÑOS)	MONTO (\$)	INVERSION AÑO CERO (\$)
0		\$ 118,00
1	\$ 857,16	
2	\$ 20,00	
3	\$ 20,00	
4	\$ 20,00	
5	\$ 20,00	
6	\$ 20,00	

El periodo de seis años, se determina por el análisis realizado con anterioridad en donde se obtuvo la conclusión de que la vida útil del sistema de control sin averiarse es de seis años.

Determinados los datos necesarios se procede a obtener el valor actual del costo mediante software, utilizando los valores de la Tabla 41.

$$\text{Valor Actual} = 895.03$$

Para obtener el valor actual del costo se debe sumar al valor actual, la inversión realizada en el año cero que es de \$118.00

$$\text{Valor Actual del Costo} = 895.03 + 118 = \$1013.03$$

Para obtener la relación beneficio costo, se requiere realizar un procedimiento similar a al anterior pero esta vez para el beneficio, ver Tabla 42.

Tabla 42. Determinación del Valor Actual de los Beneficios
Fuente: Los Autores

PERIODO (Años)	BENEFICIOS (\$)
0	0
1	\$ 11,38
2	\$ 11,38
3	\$ 11,38
4	\$ 11,38
5	\$ 11,38
6	\$ 11,38

Los beneficios se calculan para un mismo periodo de tiempo que los costos, dando como beneficio anual \$11.38 que es el valor del ahorro de combustible, como en el año cero no se tiene beneficio por ende no se coloca el valor de \$11,38.

El valor actual de los beneficios con una tasa de descuento del 5.35%, para un periodo de 6 años, se hace con la ayuda de un software dando el siguiente valor.

$$\text{Valor Actual del Beneficio} = \$57.12$$

Una vez obtenidos los valores actuales del beneficio y el costo, se procede a realizar la división entre los dos:

$$\frac{\text{Valor Actual del Beneficio}}{\text{Valor Actual del Costo}} = \frac{57.12}{1013.03} = 0.056$$

La relación costo beneficio es menor a uno, es decir no resulta beneficioso realizar el proyecto desde el punto de vista financiero, tomando en consideración el ahorro de combustible.

5.9 CALCULO TOMANDO COMO BENEFICIO LA DISMINUCION DE ACCIDENTES Y COMO COSTO A LA ELEABORACION DE UN PROTOTIPO.

El cálculo costo beneficio tomando como referencia la disminución de accidentes se hace para un año, dado que si se hace para más años se debería hacer proyecciones supuestas, y no es exacto el cálculo.

En la Tabla 43 se puede ver el periodo de un año considerando siempre el año cero, en el monto se tiene el valor de construir el sistema de control multiplicado por el número de vehículos accidentados que son 101, esto en el año uno, mientras que la inversión es de \$118.

Tabla 43. Cálculo del Valor Actual del Costo.
Fuente: Los Autores

PERIODO (AÑOS)	MONTO (\$)	INVERSION AÑO CERO (\$)
0		\$ 118,00
1	\$ 886.573	

Con los datos de la Tabla 43 se obtiene el valor actual del costo:

$$\text{Valor Actual del Costo} = \$82294.71$$

Posteriormente se calcula el valor actual del beneficio con los datos de la Tabla 44.

Tabla 44. Determinación del Valor Actual de los Beneficios
Fuente: Los Autores

PERIODO (Años)	BENEFICIOS (\$)
0	0
1	\$ 2.532*10 ⁶

El periodo es de un año, considerando que en el año cero no se tiene beneficios, pues entonces en el primer año el beneficio es de \$2.532 millones, dinero que se ahorra el país con los sistemas de control de dirección implementados.

Con la ayuda de software se obtiene el valor actual del beneficio:

$$\text{Valor Actual del Beneficio} = \$2404084.74$$

Por último se obtiene la relación costos beneficio.

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{\$2404084.74}{\$82294.71} = 29.213$$

De acuerdo al análisis financiero el proyecto es beneficioso ya que la relación costo-beneficio es mayor a uno, por ende se tiene que al implementar el sistema a los automóviles se reduce los accidentes de forma notable, provocando un ahorro económico al país, al reducirse dichos accidentes.

CONCLUSIONES

- Mediante la realización del diseño, construcción e implementación del control electrónico, para el sistema de dirección se pone en evidencia que dentro del vehículo se puede controlar cualquier sistema siempre que se tenga, señales de sensores, un controlador y un actuador.
- Antes de intervenir en el sistema de dirección del vehículo Honda CRV, es necesario realizar un estudio del mismo, analizando componente a componente para decidir en donde realizar la intervención de dicho sistema.
- Una vez realizado el estudio del sistema, se procede a diseñar el controlador esto se hace con el fin de no cometer errores a la hora de construir el sistema de control electrónico, dando como resultado un óptimo funcionamiento del sistema.
- Con el sistema de control construido e implementado en el vehículo, se gana en seguridad al conducir el coche, ya que el volante se vuelve más rígido en altas velocidades, situación en donde el conductor pierde sensibilidad sobre el volante al volverse este muy blando.
- Se logra también reducir el consumo de combustible, esto es una consecuencia de implementar el sistema de control, ya que con esto se hace que la bomba de dirección hidráulica funcione en los momentos precisos, consumiendo menos potencia del motor de combustión interna por ende menos consumo.

RECOMENDACIONES

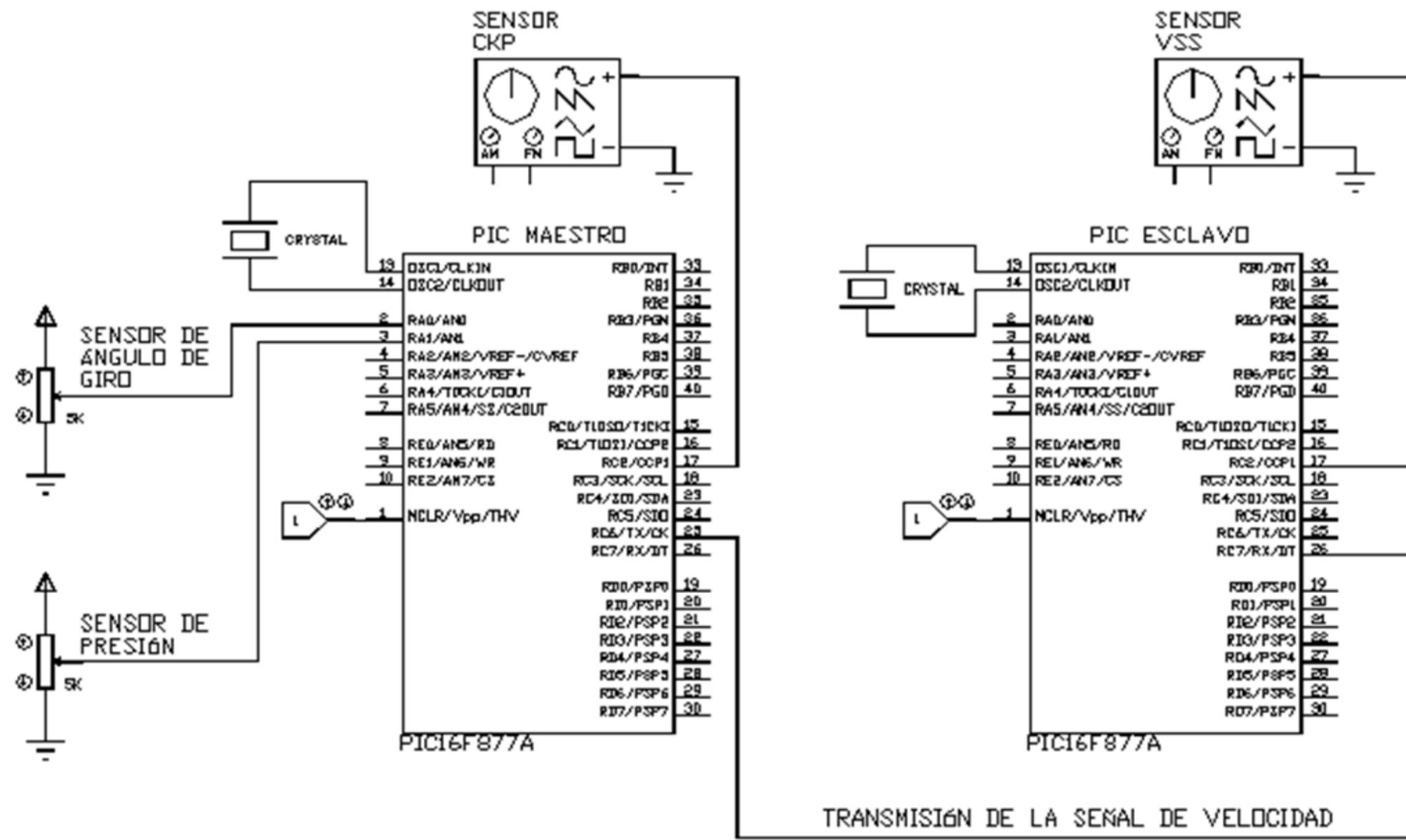
- Este proyecto ha sido basado en los sistemas de dirección eléctricos (EPS), es un proyecto que se asemeja en gran medida a este tipo de sistemas, se recomienda en caso de quererlo mejorar, tomar referencia a este tipos de sistemas de dirección.
- La intervención o la desviación del líquido hidráulico a presión del sistema de dirección se lo debe realizar en un extremo de la cañería de alta presión ya que de no hacerlo de esta manera se estaría echando a perder dicha manguera, por el motivo de que esta lleva una válvula check a lo largo de su constitución flexible.
- Para realizar el desvío del líquido se recomienda utilizar una electroválvula de caudal variable, que daría mayor exactitud a la hora de quitar asistencia al sistema, se recomienda esto debido a que la electroválvula ON/OFF que se usa en este proyecto, causa problemas a la hora de programar su apertura o cierre.
- Por último se recomienda tener un conocimiento basto en lo que a programación de Microcontroladores se refiere, ya que de la programación de dicho componente depende en gran medida de la exactitud del sistema de control, y la manipulación de la apertura de la electroválvula.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Á. Pérez Belló, *Circuitos de fluidos, suspensión y dirección: electromecánica de vehículos automóviles*. Madrid: Paraninfo, 2011.
- [2] E. Águeda Casado, *Sistemas de transmisión de fuerzas y trenes de rodaje: Transporte y mantenimiento de vehículos : Automoción*. Madrid: Paraninfo, 2012.
- [3] M. F. Brescha y J. Vilardell Coma, *Los cambios automáticos*. Barcelona [etc.: Reverté, 1978.
- [4] J. Font Mezquita, J. F. Dols Ruiz, y Universidad de Valencia, *Tratado sobre automóviles*. Valencia: Universidad Politécnica, 1997.
- [5] T. González Bautista, *Circuitos de fluidos suspensión y dirección: [mantenimiento de vehículos autopropulsados]*. Pozuelo de Alarcón, Madrid: Editex, 2008.
- [6] W. H. Crouse y W. H. Crouse, *Mecánica del automóvil*. Barcelona: Marcombo, 1990.
- [7] J. A. Somolinos Sánchez, *Avances en robótica y visión por computador*. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2002.
- [8] L. Gil Sánchez, *Introducción a la electrónica digital*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones : Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, Departamento de Ingeniería Electrónica, 1999.
- [9] C. Angulo Bahón y C. Raya Giner, *Tecnología de sistemas de control*. Barcelona: UPC, 2004.
- [10] E. Santamaría, *Electrónica digital y microprocesadores*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 1993.

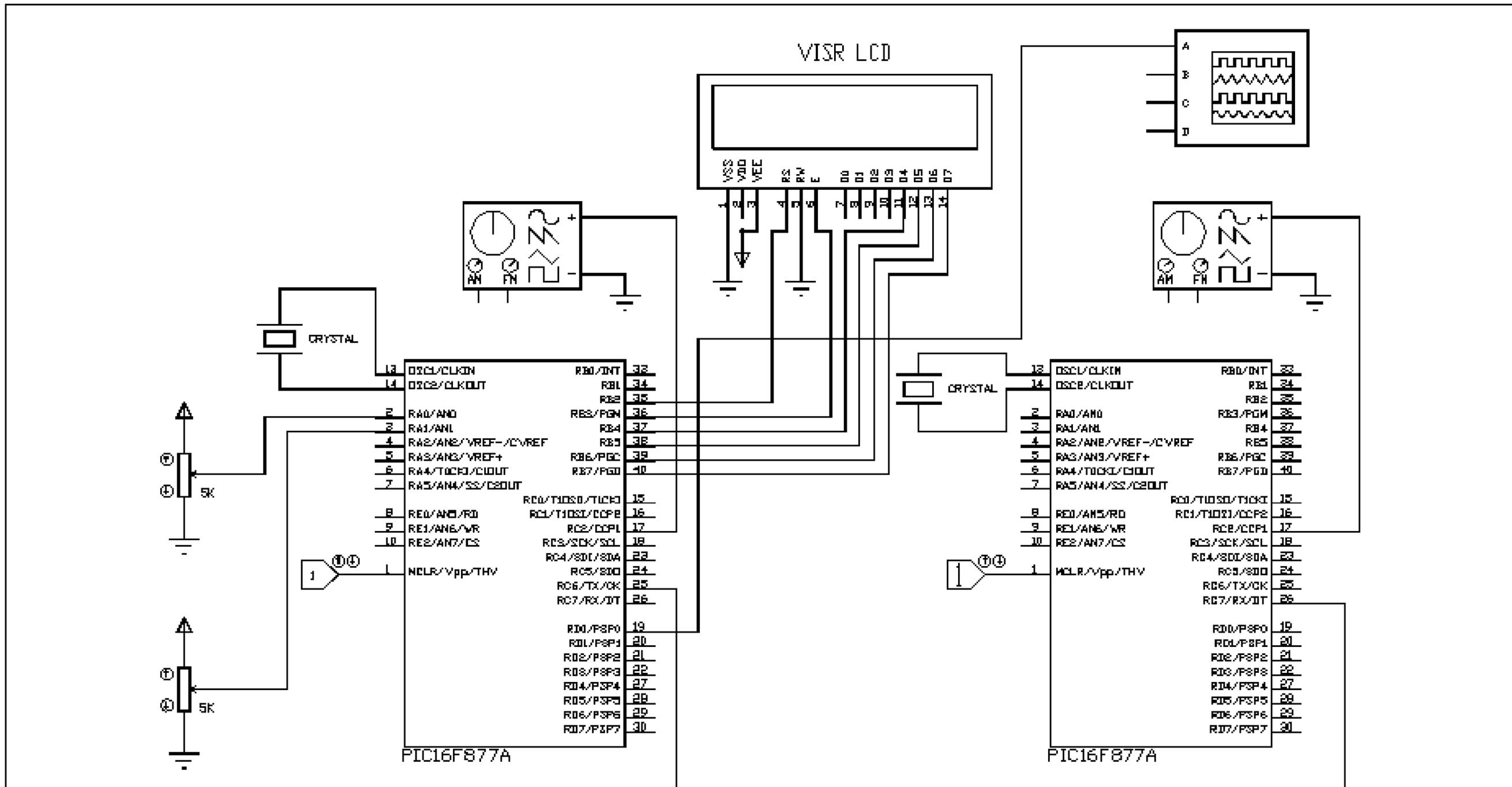
Anexos

Anexo 1: Transmisión de la señal de velocidad.



	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Alumno	07/10/2003	Juan Solórzano Muñoz Chabla		
Grupos				
Matrícula				
Escuela:	14 Configuración Maestro-Eslavo del controlador Electrónico			Anexo 1
				M. Alumno: Chabla, Solórzano
				Cursos:

Anexo 2: Simulación del Sistema de Control.



	Fecha	Nombre	Forma:	UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
Dirigido	07/03/2023	Juan Talavera, Marco Chabla		
Comprobado				
Clasificado				
Escuela:	Circuito del Control Electrónico de la Dirección Hidráulica.			Anexo 2
				N. Alumno: Chabla, Solórzano
				Curso:

Anexo 3: Líneas de Código Para Programar el Microcontrolador.

programa velocímetro

```
dim LCD_RS as sbit at RB2_bit    'pin para transmisión
LCD_EN as sbit at RB3_bit      'pin para habilitar el LCD
LCD_D4 as sbit at RB4_bit      'pines para datos
LCD_D5 as sbit at RB5_bit
LCD_D6 as sbit at RB6_bit
LCD_D7 as sbit at RB7_bit
```

'configurar como salidas para la comunicación

```
LCD_RS_Direction as sbit at TRISB2_bit  'transmisión
LCD_EN_Direction as sbit at TRISB3_bit   'habilitar
LCD_D4_Direction as sbit at TRISB4_bit   'datos
LCD_D5_Direction as sbit at TRISB5_bit
LCD_D6_Direction as sbit at TRISB6_bit
LCD_D7_Direction as sbit at TRISB7_bit
```

'valirables tipo bit, byte, word, float, string

```
dim dato1 as byte
```

```
dim dato2 as byte
```

```
dim velocidad as byte
```

```
dim velocidad1 as word
```

```
dim potenciometro as word
```

```
dim potenciometro1 as byte
```

```
dim tiempoalto as byte
```

dim tiempobajo as byte
dim tiempoalto2 as float
dim tiempobajo2 as float
dim control2 as float
dim control as byte
dim valor as WORD
dim rpm as float
dim rpm1 as word
dim presion as word
dim presion1 as byte
dim presion2 as float
dim presion3 as byte
dim presion4 as word
dim porcentaje as float
dim text as string [5]
dim text2 as string [5]
dim text3 as string [5]
dim text4 as string [5]

DIM TEMPORAL AS WORD
DIM HLFLAG AS BYTE
DIM CICLO_UTIL2 AS float
DIM CICLO_UTIL AS INTEGER
'variables constantes
CONST TMAX AS WORD = 255

const periodo as word = 153 'valor que cargo en el timer para conseguir la
frecuencia deseada

SUB PROCEDURE INTERRUPT

IF TESTBIT(intcon,TMR0If) = 1 then

IF HLFLAG= 1 THEN 'variación del PWM. Con timer.

portd.0 = 0 'tiempo en bajo

TEMPORAL=TMAX-periodo+CICLO_UTIL

HLFLAG=0

ELSE

portd.0 = 1 'tiempo alto

TEMPORAL=TMAX-CICLO_UTIL

HLFLAG=1

END IF

TMR0=TEMPORAL

clearbit(intcon,TMR0If)

end if

END SUB

'symbol PWM_1=PORTD.0 'defino para mi programa el puerto D0 como PWM1

```

main:

DELAY_MS(1000)

TRISD.0 = 0      'salida para la válvula.

option_reg=%11000110 'configuro el timer0 para conseguir la frecuencia deseada

INTCON=%10100000

portd.0=1      'válvula activada esperando el cálculo de timer para el ancho de pulso

HLFLAG=1      'si es 1 trabaja en el ciclo apagado, si es 0 trabaja en el ciclo encendido
' esto esta en el parte de arriba

lcd_Init()      ' Inicialización del visualizador LCD

Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF) ' Comando LCD (apagar el cursor)

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR)    ' Comando LCD (borrar el LCD)

adc_init()      'inicializo el conversor analógico digital.

delay_ms(1000)  'tiempo de espera..

text = "Iniciando" ' Definir el primer mensaje

Lcd_Out(1,1,text)      ' Escribir el primer mensaje en la primera línea

delay_ms(1000)

Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR)    ' Comando LCD (borrar el LCD)

text2="VSS:"

```

```
lcd_out(2,1,text2)
```

```
text="RPM:"
```

```
lcd_out(1,1,text)
```

```
text="A:"
```

```
lcd_out(2,11,text)
```

```
text="P:"
```

```
lcd_out(1,11,text)
```

```
UART1_INIT(9600)      'estable la comunicación serial con el otro pic a 9600 bps
```

```
delay_ms(100)
```

```
ADCON1=%00000000     'registro para hacer los puertos analógicos
```

```
T1CON=%00111001     'timer 1 configurado para captura del ancho de pulso
```

```
TRISB=0              'configuro como salidas para el LCD
```

```
PORTB=0
```

```
TRISC.2=1           'configuro como entrada para el CKP
```

```
dato1=0              'inicializo valores para que no haya errores cuando arranque  
le programa
```

```
dato2=0
```

```
valor=0
```

```
control=0
```

```

tiempobajo=0
tiempoalto=0

while true

velocidad=UART1_READ()      'le pido al pic vecino, que me diga cuanto es la
velocidad esclavo

potenciometro=adc_read(0)    'convierto el voltaje del potenciómetro en digital,
esta conectado en RA0 10 bits

potenciometro1=potenciometro >> 2    'convierto el dato digital de 10 bits a 8 bits

presion=adc_read(1)         'adquiere el valor del sensor de presiona 10 bist
presion1=presion >> 2      'le pasa a 8 bits

presion2=(0.5*presion1)-12.25    ' le hace una relación entre 0-255  a 0-100%
presion3=presion2

if velocidad<5 then          'si la velocidad menor que 5 me muestra en el lcd 0
velocidad=0
end if

if velocidad<15 then
    if potenciometro1<132 then

```

```
control2=-5.91*(potenciometro1-132.0)+1      'cálculo de la ecuación para el
control de la valvula (+1)para evitar oscilaciones en el centro
```

```
end if
```

```
if potenciometro1>136 then
```

```
control2=5.05*(potenciometro1-136.0)+1      'se ha modificado 7 izquierda
```

```
end if
```

```
if potenciometro1>=132 then
```

```
if potenciometro1<=136 then
```

```
control2=0
```

```
end if
```

```
end if
```

```
end if
```

```
if velocidad>15 then
```

```
if velocidad<40 then
```

```
control2=10.2*(velocidad-15)  'calcula valor para PWM en la válvula cuando varia
la velocidad de 15 a 40km/h
```

```
end if
```

```
end if
```

```
if velocidad>40 then
```

```
control2=255      'se quita toda la asistencia
```

```
end if
```

```
control=control2  ' paso de una variable flotante a una tipo byte
```

CICLO_UTIL2=0.4*control '0.4 calibra el ancho de pulso

CICLO_UTIL=CICLO_UTIL2 'de flotante a byte

porcentaje=100-control*100/255

bytetostr(velocidad,text2) 'convierte todos los datos que voy a mostrar en string y se guardan en las variables texto

lcd_out(2,5,text2)

wordtostr(rpm1,text)

lcd_out(1,5,text)

bytetostr(porcentaje,text4)

lcd_out(2,13,text4)

bytetostr(presion3,text3)

lcd_out(1,13,text3)

CCP1CON=%00000101 'algoritmo que calcula rpm

PIR1.2=0 'bandera de timer1

while PIR1.2=0 'mientras la bandera =0 then nada (si la bandera ya es 1, significa que entro un pulso)

wend

PIR1.2=0 'bandera le pongo en cero

TMR1L=0 'valor de timer alto y bajo

TMR1H=0

```

WHILE PIR1.2=0          ' mientras espera otro pulso, el timer se incrementa
WEND

                        'llega el pulso

PIR1.2=0                'bajo la bandera.=0

DATO1=CCPR1L            ' cargo el valor del timer1 en las variables dato1 y dato2

DATO2=CCPR1H

VALOR= DATO2 << 8 + DATO1    ' luego concateno las dos variables de tipo byte
para formar una sola variable de tipo byte

rpm=pow(valor,-0.964)      'replazo la ecuación para calcular los rpm

rpm=514003*rpm

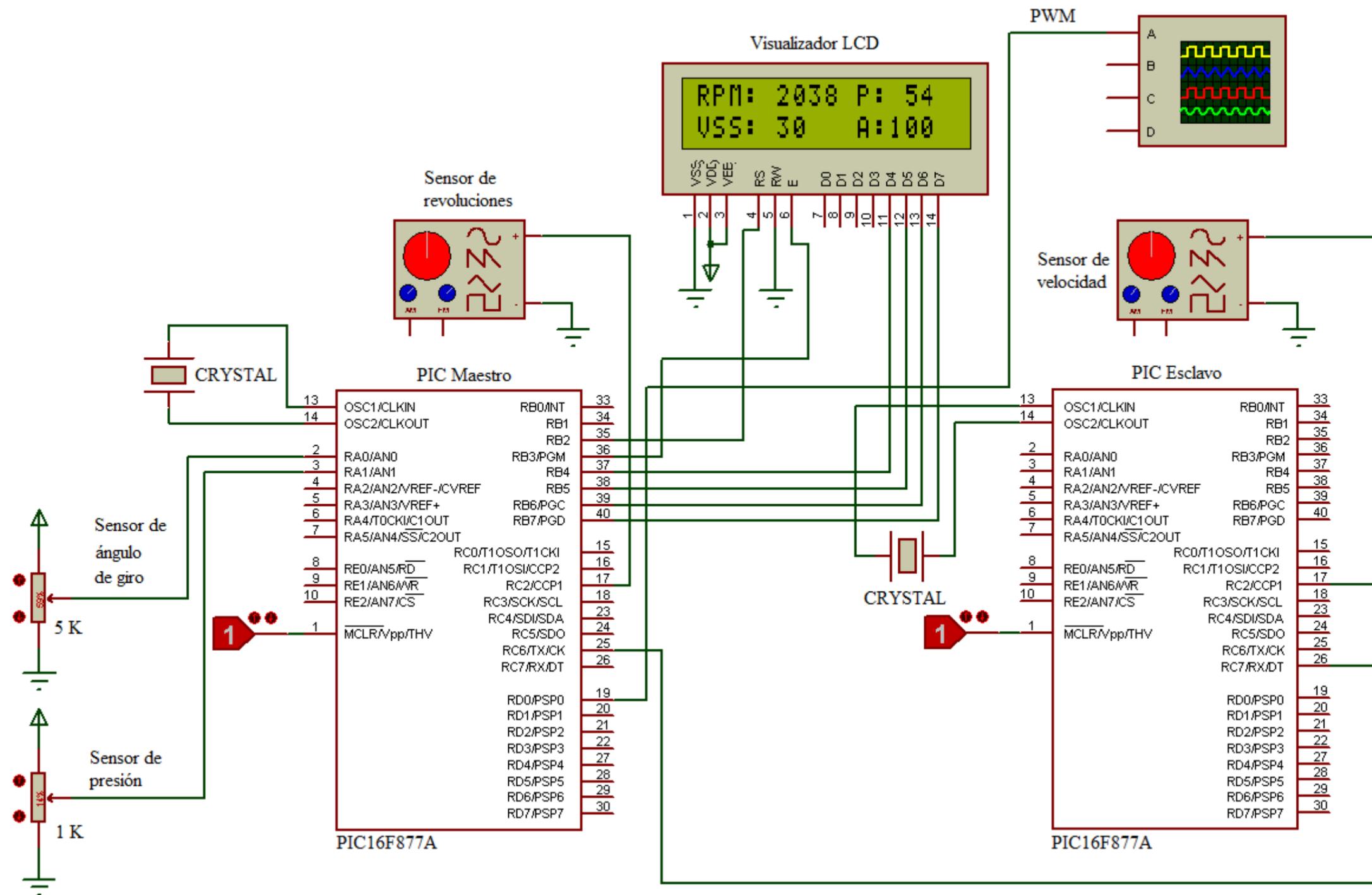
rpm1=rpm

wend

end.

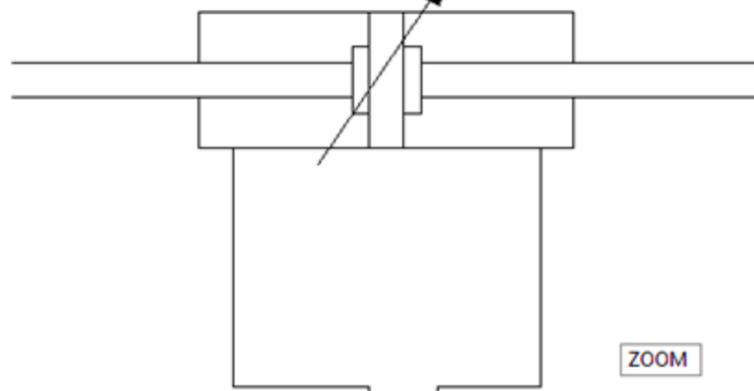
```

Anexo 4: Visualización en el LCD de los Parámetros de Velocidad (VSS), Régimen de Giro (RPM), Grado de Asistencia (A) y Presión del Sistema Hidráulico (P).

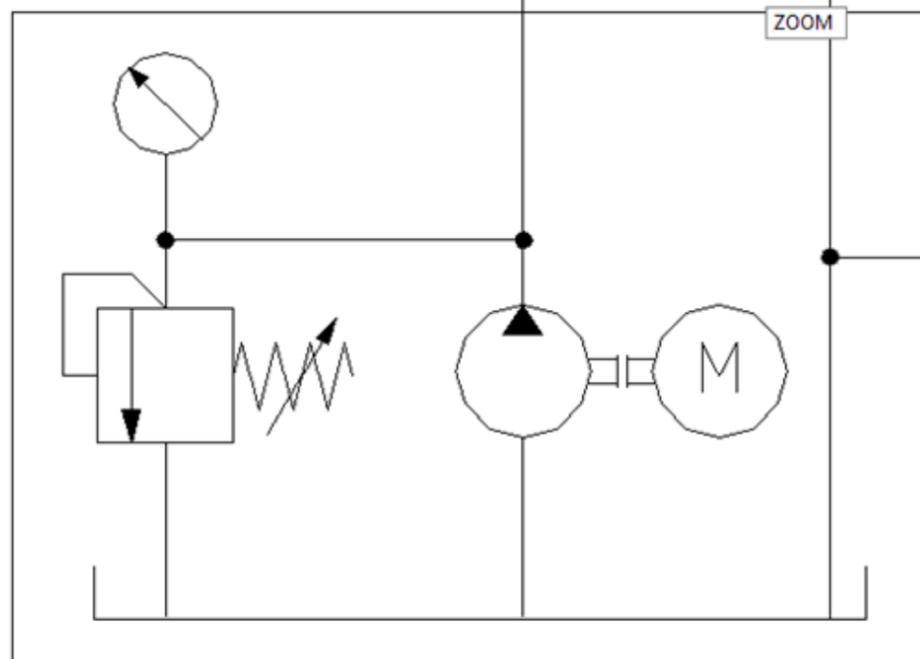
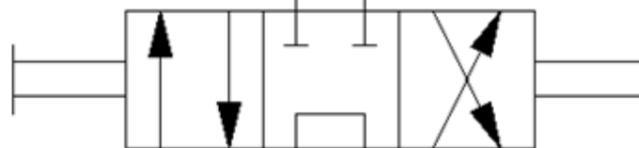


Anexo 5: Esquema del Sistema Hidráulico de la Dirección.

Cilindro de doble efecto de las ruedas directrices



Válvula distribuidora 4/3

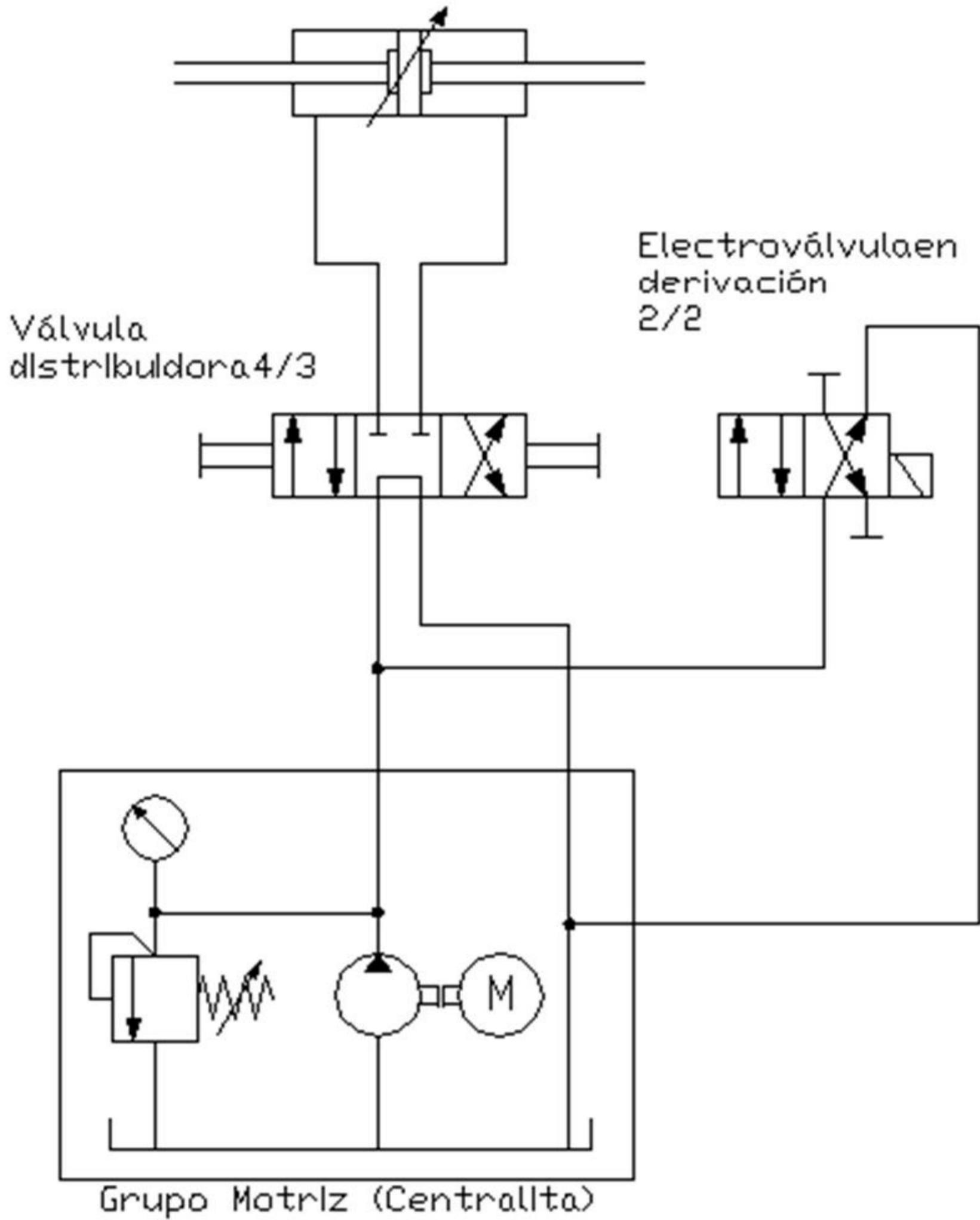


Grupo Motriz (Centralita)

	Fecha	Nombre	Firma:	Universidad Politécnica Salesiana Ing. Mecánica Automotriz
Dibujado	07/03/2018	Juan Solórzano, Marco Chobla		
Comprobado				
Id. y normas				
Escala:	 Sistema de Dirección Hidráulica			Anexo 5
1:1				N. Alumnos: Solórzano, Chobla
				Curso:

Anexo 6: Esquema del Sistema Hidráulico Para la Dirección Variable.

Cilindro de doble efecto de las ruedas directrices



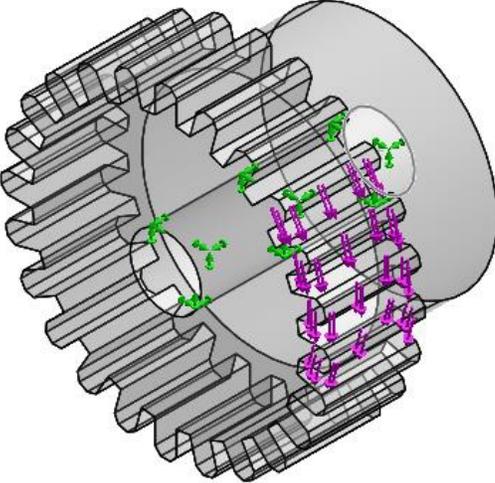
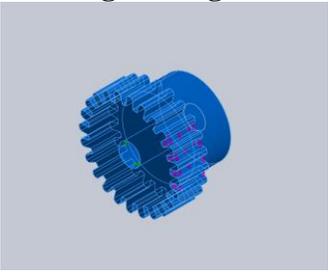
Fecha:	Nombre:	Forma:	Unidad Politécnica Superior
17/04/2018	Jose David Jimenez		Dep. Mecánica Automática
Título:			Área 6
Sistema de dirección hidráulica, con electroválvula en derivación			X. Daniel Rubio, Solares
			Curso:

Anexo 7: Análisis de Tensiones de la Base Para la Electroválvula.

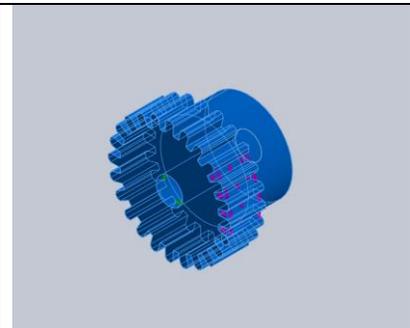
Suposiciones

En la simulación del análisis de tensiones se procede a seleccionar los puntos de anclaje que en la figura se lo representa con flechas de color verde, después se procede a la aplicación de la fuerza que se genera al girar el volante de la dirección, dicha fuerza se la representa con flechas de color morado, y por último se selecciona el material Acrílico (impacto medio-alto).

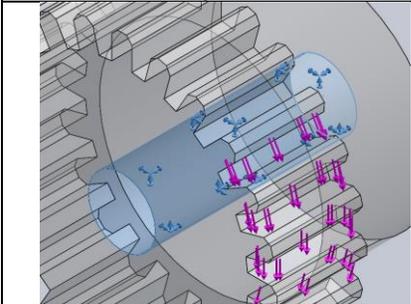
Información de modelo

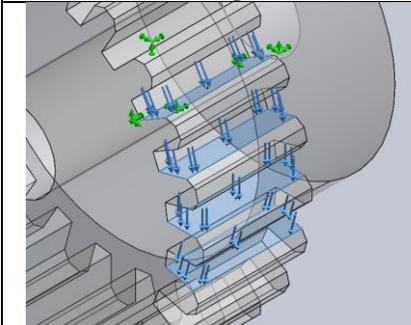
 Piñol para sensor de angulo de giro		
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
Piñol para sensor de angulo de giro 	Sólido	Masa:0.00801855 kg Volumen:6.68212e-006 m³ Densidad:1200 kg/m³ Peso:0.0785818 N

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades
	<p>Nombre: Acrílico (impacto medio-alto)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p> <p>Límite elástico: 4.5e+007 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 7.3e+007 N/m²</p>

Cargas y sujeciones

Sujeción	Detalles de sujeción
	<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>

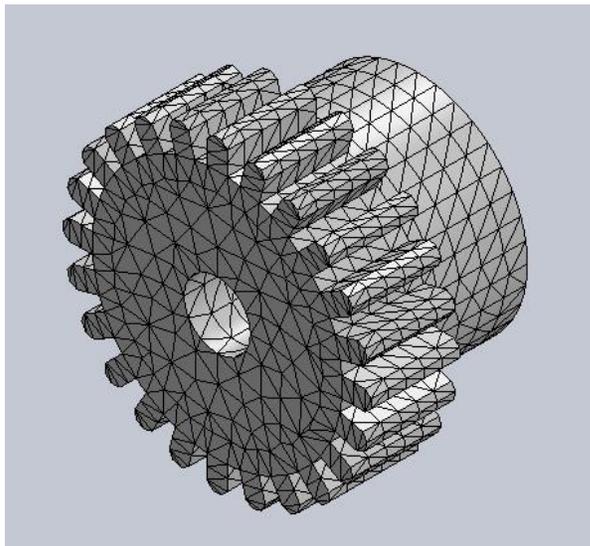
Cargas	Detalles de carga
	<p>Entidades: 4 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 5 N</p>

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	1.88427 mm
Tolerancia	0.0942137 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

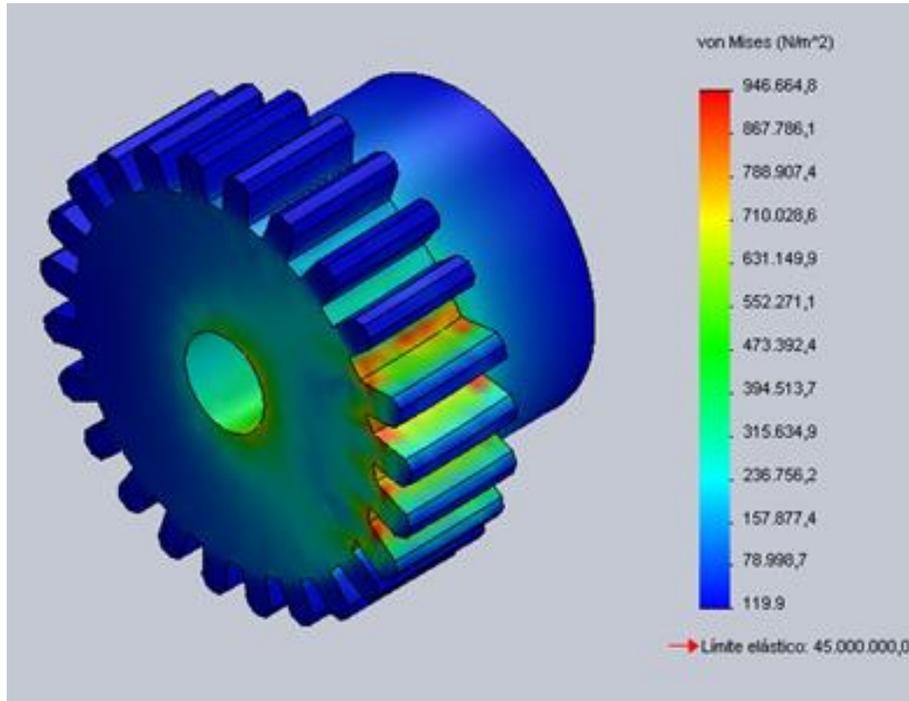
Información de malla – Detalles

Número total de nodos	15791
Número total de elementos	9569
Cociente máximo de aspecto	8.0032
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97.4
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	MARCO-PC



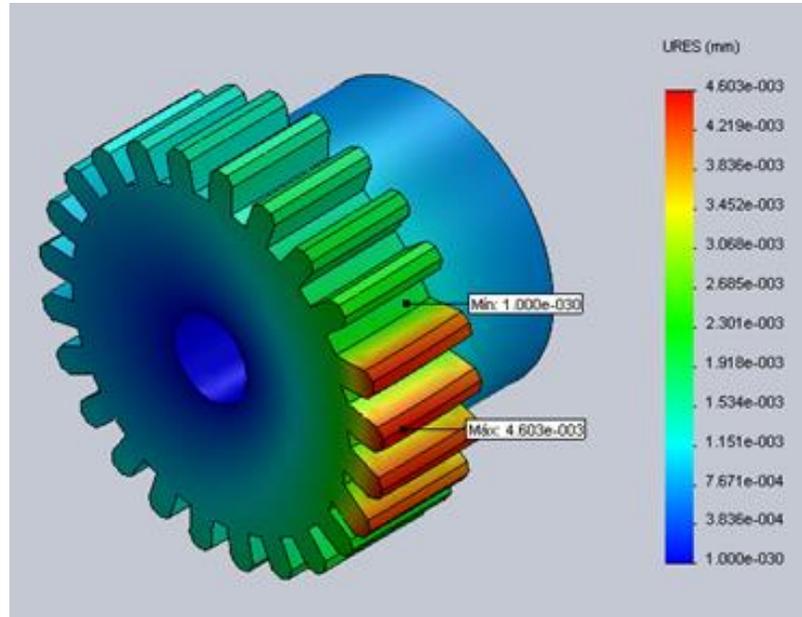
Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	119.94 N/m ² Nodo: 12493	946665 N/m ² Nodo: 10160



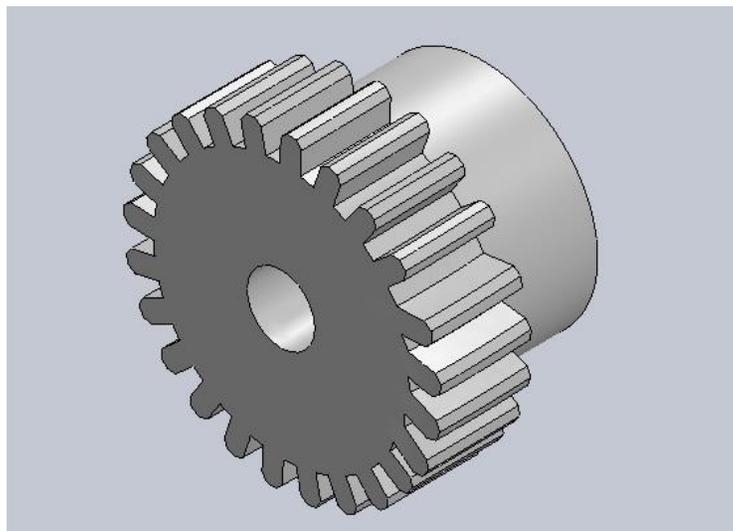
SimulationXpress Study-Tensiones-Stress

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamiento	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.00460272 mm Nodo: 917

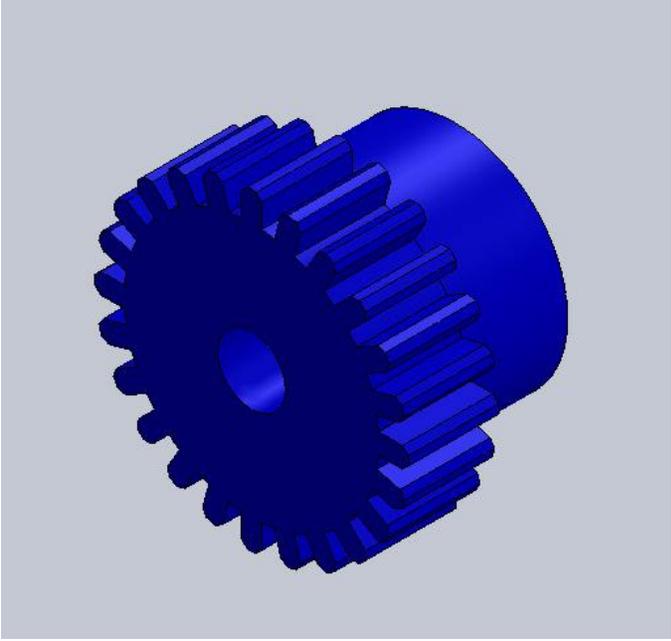


SimulationXpress Study-Desplazamientos-Displacement

Nombre	Tipo
Deformación	Forma deformada



SimulationXpress Study-Desplazamientos-Deformation

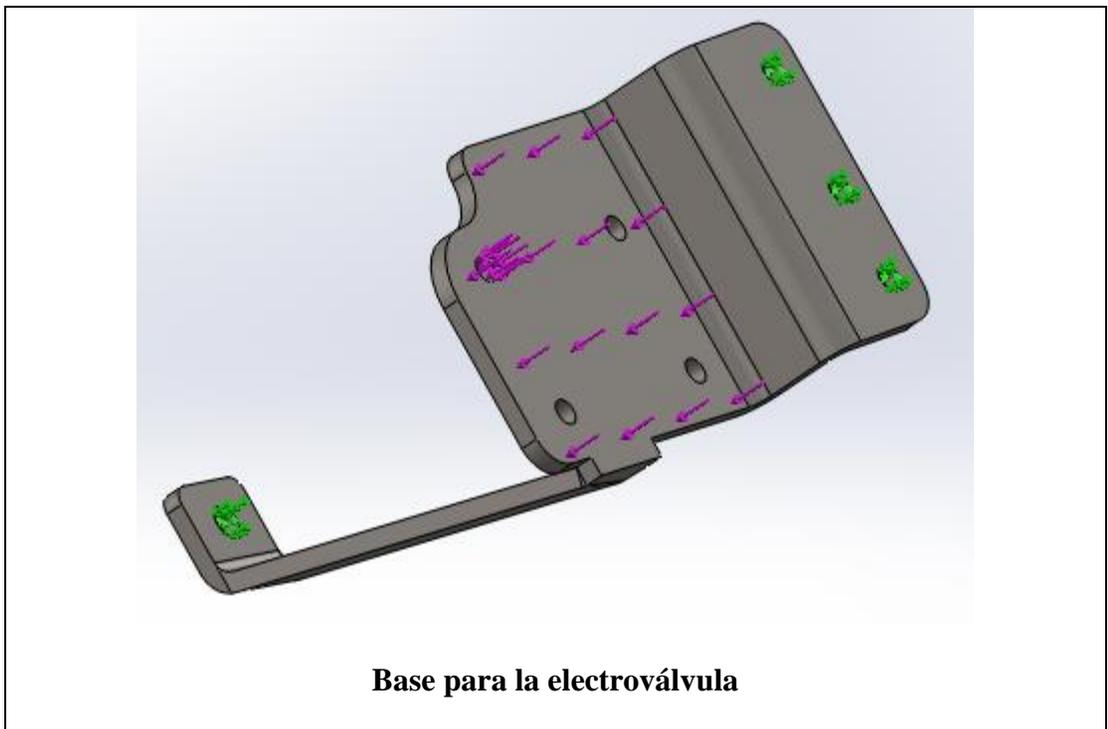
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	47.5353 Nodo: 10160	375187 Nodo: 12493
			
SimulationXpress Study-Factor de seguridad-Factor of Safety			

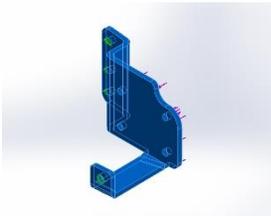
Anexo 8: Análisis de Tensiones de la Base Para la Electroválvula.

Suposiciones

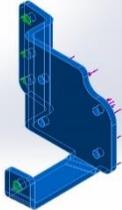
En la simulación del análisis de tensiones se procede a seleccionar los puntos de anclaje que en la figura se lo representa con flechas de color verde, después se procede a la aplicación de la fuerza que genera el peso de la electroválvula sobre la base, dicha fuerza se la representa con flechas de color morado, y por último se selecciona el material AISI 4340 Acero, normalizado.

Información de modelo

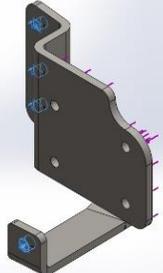


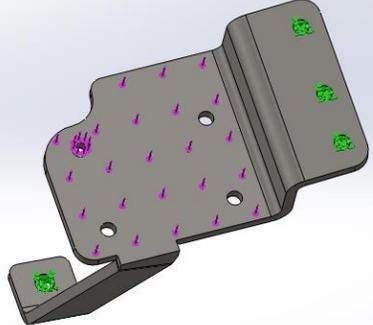
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
<p>Base para la electroválvula</p> 	Sólido	Masa:1.01172 kg Volumen:0.000128882 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso: 9.91487 N

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades
	<p>Nombre: AISI 4340 Acero, normalizado</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p> <p>Límite elástico: 7.1e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1.11e+009 N/m²</p>

Cargas y sujeciones

Sujeción	Detalles de sujeción
	<p>Entidades: 4 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>

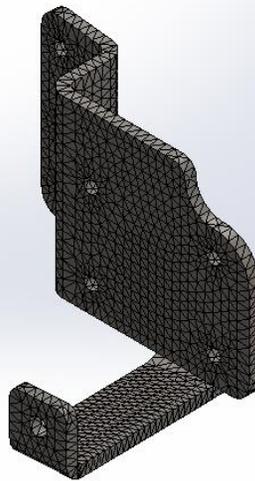
Cargas	Detalles de carga
	<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 44.141 N</p>

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4.70031 mm
Tolerancia	0.235016 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

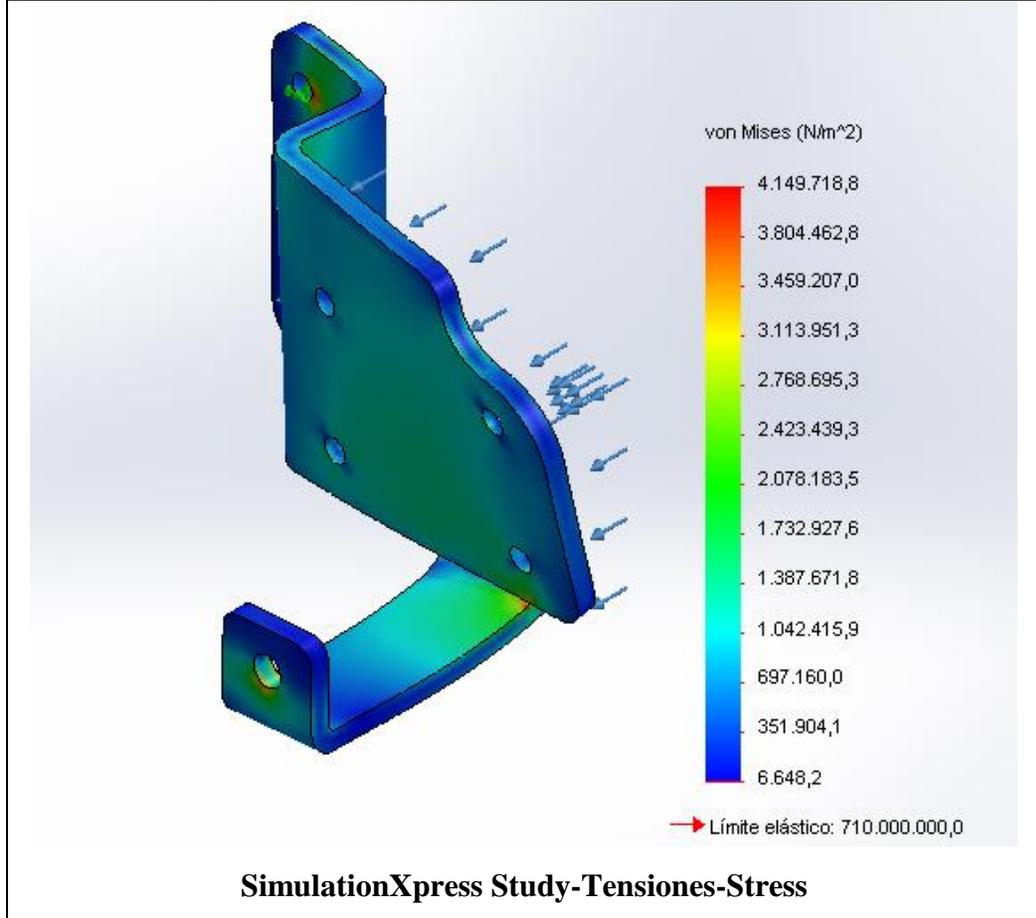
Información de malla - Detalles

Número total de nodos	21002
Número total de elementos	12003
Cociente máximo de aspecto	6.8406
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02

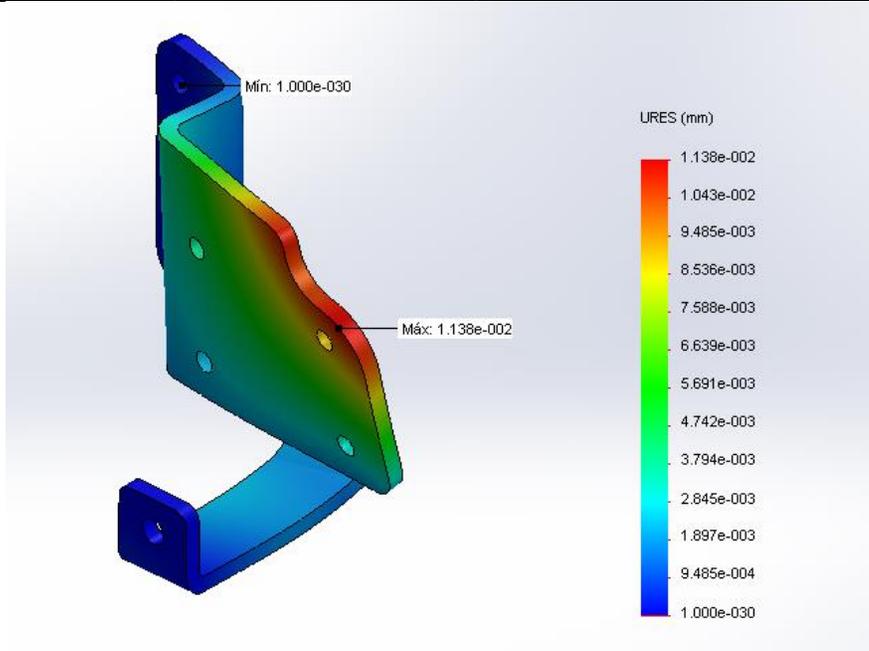


Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	6648.23 N/m ² Nodo: 18847	4.14972e+006 N/m ² Nodo: 20873

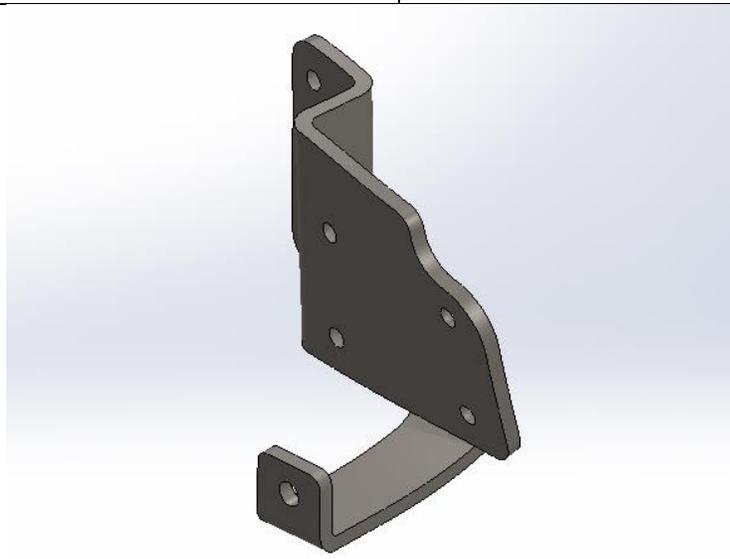


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamiento	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 1	0.0113818 mm Nodo: 18654

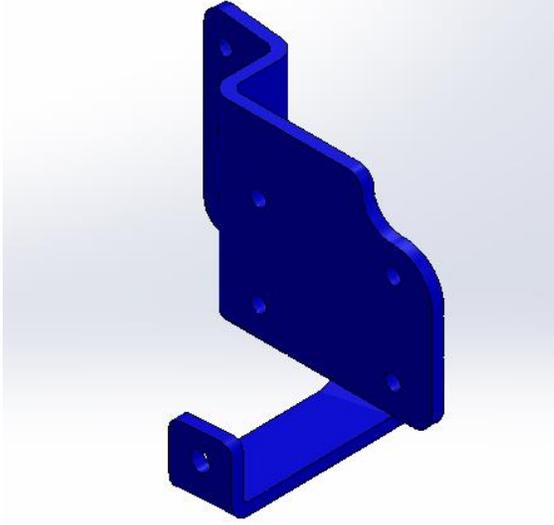


SimulationXpress Study-Desplazamientos-Displacement

Nombre	Tipo
Deformación	Forma deformada



SimulationXpress Study-Desplazamientos-Deformation

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Tensión de von Mises máx.	171.096 Nodo: 20873	106795 Nodo: 18847
 <p data-bbox="444 953 1289 987">SimulationXpress Study-Factor de seguridad-Factor of Safety</p>			

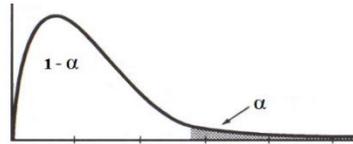
Anexo 9: Tabla de Registro de Consumo de Combustible.

DATOS DEL VEHICULO				
Tipo		Marca		
Modelo		Capacidad del tanque de combustible		
FECHA	HODOMETRO		DISTANCIA	CONSUMO DE GASOLINA
	INICIO	FINAL	RECORRIDA	
TOTAL				

Anexo 10: Tabla de Distribución F.

Tabla de Distribución F

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos29/recepcion-senales-celulares/recepcion-senales-celulares.shtml>



		Grados de libertad para el numerador											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
Grados de libertad para el denominador	1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246
	2	18,50	19,00	19,20	19,20	19,30	19,30	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40
	3	10,10	9,55	9,12	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70
	4	7,71	6,94	6,39	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86
	5	6,61	5,79	5,19	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62
	6	5,99	5,14	4,53	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94
	7	5,59	4,74	4,12	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51
	8	5,32	4,46	3,84	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22
	9	5,12	4,26	3,63	3,68	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01
	10	4,96	4,10	3,48	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85
	11	4,84	3,98	3,36	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72
	12	4,75	3,89	3,26	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62
	13	4,67	3,81	3,18	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53
	14	4,60	3,74	3,11	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46
	15	4,54	3,68	3,06	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40
	16	4,49	3,63	3,01	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35
	17	4,45	3,59	2,96	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31
	18	4,41	3,55	2,93	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27