

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**



CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO
DIDÁCTICO DE DIRECCIÓN ELECTROMECAÁNICA
DEL VEHÍCULO HYUNDAI ACCENT 2008”**

**JUAN CARLOS PIZANÁN CASTRO
NELSON DAVID TARAPUÉS CHALAPÚ**

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del
grado de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AÑO 2012

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Pizanán Castro Juan Carlos
Tarapués Chalapú Nelson David

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE DIRECCIÓN ELECTROMECAÁNICA DEL VEHÍCULO HYUNDAI ACCENT 2008**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

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

Latacunga, Junio del 2012

Pizanán Castro Juan Carlos
CI. 040144193-6

Tarapués Chalapú Nelson David
CI. 171504265-9

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Pizanán Castro Juan Carlos
Tarapué Chalapú Nelson David

DECLARAMOS QUE:

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca Virtual de la Institución del trabajo **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE DIRECCIÓN ELECTROMECÁNICA DEL VEHÍCULO HYUNDAI ACCENT 2008”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Junio del 2012

Pizanán Castro Juan Carlos
CI. 040144193-6

Tarapué Chalapú Nelson David
CI. 171504265-9

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE DIRECCIÓN ELECTROMECAÁNICA DEL VEHÍCULO HYUNDAI ACCENT 2008**”, fue desarrollado por PIZANÁN CASTRO JUAN CARLOS y TARAPUÉS CHALAPÚ NELSON DAVID, bajo nuestra supervisión, cumpliendo con normas estatutarias establecidas por la ESPE en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Latacunga, Junio del 2012.

Ing. Juan Castro.
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Sixto Reinoso
CODIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi luz y mi fuerza en los momentos más difíciles, por todas sus bendiciones para que pueda gozar de salud y del cariño de mi familia y amigos.

A mi familia en especial a mi madre Carmelina quien ha sido un apoyo moral y económico, por siempre estar pendiente del rumbo de mi vida para aconsejarme y reprenderme cuando ha sido necesario.

A mis maestros que me han acompañado durante el largo camino, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando mi formación como estudiante universitario.

A los Ingenieros Juan Castro y Sixto Reinoso quienes han colaborado con su tiempo y conocimientos para que el desarrollo de esta tesis sea posible y cumpla con los objetivos planteados.

Nelson Tarapués

DEDICATORIA

Con todo mi corazón dedico esta tesis a Dios quien es el dueño de mis logros.

A mi querida madre que ha hecho lo que ha estado en sus manos por sacarme adelante y verme convertido en un profesional.

A la memoria de mi padre que me ha acompañado espiritualmente desde su partida al cielo.

A mi hermana quien ha sido un ejemplo de responsabilidad y a mis sobrinos Mauricio, Pamela e Isaac.

Nelson Tarapués

AGRADECIMIENTO

A tí mí Díos por haberme dado el privilegio de tener unos padres que me han apoyado en todo especialmente en el transcurso de mí vida estudiantil.

A mis padres: Carlos Emílio Pizanán y Lidía Marieta Castro quien en todos los momentos me han apoyado de una u otra forma para seguir adelante culminando todas mis metas propuestas en mí vida.

A mis hermanas: Taty, Alex y Vane con quien compartía mis buenos y malos momentos de mí vida en el transcurso de mí carrera y quienes me brindaron su ayuda en lo que necesitaba.

A mis profesores quien día a día me brindaron sus conocimientos y experiencias, especialmente a nuestro Director Ing. Juan Castro y Codirector Ing. Sixto Reinoso quien nos guiaron para elaborar nuestro proyecto de grado.

Juan Carlos

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios y a mis padres: Carlos y Lidia por el gran esfuerzo, apoyo, sacrificio y amor que impartieron en mí, que gracias a ellos pude ir avanzando y con el tiempo haberlo culminado con éxito. A mis hermanas quienes estuvieron pendientes del avance diario que realizaba.

A mis sobrinos: Dylan Jhoel y Frank Anthony con quien comparto momentos maravillosos.

A toda mi familia quienes me ayudaron todo este tiempo para realizar este proyecto, que estaban pendiente de lo que realizaba y me guiaban en lo que estaba al alcance de ellos.

Juan Carlos

RESUMEN

Los sistemas de dirección de los vehículos han ido evolucionando desde direcciones netamente mecánicas, luego se introdujo sistemas de desmultiplicación, hoy en día se utiliza sistemas con asistencia hidráulica pero poco a poco están siendo relegados por sistemas de asistencia electrónicos debido a las ventajas que presentan.

El propósito del proyecto realizado ha sido buscar una herramienta tecnológica que ayude al estudiante en el aprendizaje del funcionamiento del sistema de dirección electromecánica y adquiera la mayor experiencia respecto a las comprobaciones y solución de fallas de este sistema.

En el primer capítulo se presenta el funcionamiento del sistema de dirección electromecánica de forma general y más específicamente del vehículo Hyundai Accent 2008.

En el segundo capítulo se indica el despiece de una columna de dirección del vehículo Hyundai Accent con el propósito de resolver la interrogante de la causa de sus fallas.

En el tercer capítulo se diseña los circuitos electrónicos para hacer funcionar la columna y el diseño de un software en LabVIEW que permita visualizar las señales de sensores y corriente del motor del sistema.

En el cuarto capítulo se elabora el diseño mecánico de la estructura del banco didáctico así como de un freno que mantenga trabada la dirección, con el fin de que se pueda distinguir la asistencia del sistema.

En el quinto capítulo se indica el proceso de construcción y ensamblaje de las partes mecánicas, eléctricas y electrónicas del banco didáctico.

En el sexto capítulo se muestra las pruebas de funcionamiento, las comprobaciones y simulación de fallas que pueden realizarse con y sin el uso de un ordenador.

ABSTRACT

Steering systems for vehicles have evolved from purely mechanical steering, and then gearing systems introduced today is used hydraulically assisted systems but are gradually being relegated by electronic assistance systems because of the advantages.

The purpose of the project undertaken has been to seek a technological tool to assist the student in learning the operation of the electromechanical steering system and gain more experience about the checks and troubleshooting of this system.

In the first chapter introduces the operation of electromechanical steering system generally and more specifically the car Hyundai Accent 2008.

In the second chapter describes the cutting of a steering column Hyundai Accent vehicle in order to resolve the question of the cause of their failures.

The third chapter is designed electronic circuits to operate the column and the design of a LabVIEW software that allows visualizing the sensor signals and motor current system.

The fourth chapter is made the mechanical design of the bank structure and training of a brake to maintain the address latched, so that it can distinguish the assistance of the system.

In the fifth chapter describes the process of construction and assembly of mechanical parts, electrical and electronic educational bank.

In the sixth chapter shows performance testing, verification and simulation of faults that can be performed without the use of a computer.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un banco didáctico de dirección electromecánica del vehículo Hyundai Accent 2008, que funcione según las condiciones de conducción para comprender su funcionamiento, que simule fallas, que permita realizar comprobaciones de sus componentes y en la que se pueda visualizar las formas de onda de sus sensores en un ordenador mediante comunicación serial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dar a conocer a los estudiantes, el funcionamiento del sistema de dirección electromecánica del vehículo Hyundai Accent 2008.
- Realizar un despiece general de la columna de dirección del vehículo Hyundai Accent 2008 para determinar la razón de las fallas que esta presentó en los países de Sudamérica.
- Diseñar una placa electrónica que simule las señales de sensores que son necesarios para el correcto funcionamiento de la dirección electromecánica y simule las fallas que sean posibles del sistema.
- Crear la comunicación serial para la placa electrónica que le permita conectarse a un ordenador y mediante el diseño de un software se pueda visualizar las formas de onda de los sensores, consumo de corriente del motor eléctrico, voltaje de batería y torque aplicado al volante, que utiliza la dirección electromecánica.
- Diseñar la estructura del banco didáctico y un freno que permita distinguir la dificultad de girar el volante cuando se desconecte la asistencia electrónica.
- Realizar pruebas de funcionamiento y comprobaciones de los componentes del banco de dirección electromecánica.

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD _____	ii
AUTORIZACIÓN _____	iii
CERTIFICACIÓN _____	iv
AGRADECIMIENTO _____	vii
DEDICATORIA _____	viii
RESUMEN _____	viii
ABSTRACT _____	x
OBJETIVOS _____	xi
OBJETIVO GENERAL _____	xi
OBJETIVOS ESPECÍFICOS _____	xi

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1.GENERALIDADES. _____	1
1.1.1. SISTEMA DE DIRECCIÓN _____	1
1.1.2. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DIRECCIÓN _____	1
1.1.3. CUALIDADES QUE DEBE REUNIR UN SISTEMA DE DIRECCIÓN _____	3
1.1.4. DIRECCIONES ASISTIDAS _____	4
1.2.DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTRÓNICAMENTE (EPS- ELECTRONICPOWERED STEERING) _____	5
1.2.1 TIPOS DE SISTEMA EPS _____	5
a. DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTRÓNICAMENTE EN LA COLUMNA _____	6
b. DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTRÓNICAMENTE EN EL PIÑÓN _____	7
c. DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTRÓNICAMENTE EN LA CREMALLERA _____	7
1.2.2. ESTRUCTURA Y COMPONENTES DEL SISTEMA EPS _____	8
a. SENSOR DE ÁNGULO DE DIRECCIÓN _____	8
b. SENSOR DE PAR DE DIRECCIÓN _____	11
c. SENSOR DE RÉGIMEN DEL ROTOR _____	12
d. SENSOR DE VELOCIDAD DE MARCHA DEL VEHÍCULO _____	13

e. SENSOR DE RÉGIMEN DEL MOTOR _____	13
f. MOTOR ELÉCTRICO _____	14
g. UNIDAD DE CONTROL PARA LA DIRECCIÓN _____	15
h. TESTIGO LUMINOSO DE AVERÍAS _____	16
1.2.3. FUNCIONAMIENTO DE LA DIRECCIÓN _____	16
a. FUNCIONAMIENTO AL ESTACIONAR _____	17
b. FUNCIONAMIENTO CIRCULANDO EN CIUDAD _____	18
c. FUNCIONAMIENTO CIRCULANDO EN AUTOPISTA _____	19
d. FUNCIONAMIENTO EN RETRO GIRO ACTIVO _____	20
e. FUNCIONAMIENTO CORRECCIÓN DE MARCHA RECTA _____	21
1.2.4. VENTAJAS DE LA DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTROMECAÁNICA _____	22
1.2.5. DESVENTAJAS DE LA DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTROMECAÁNICA _____	24
1.3. SISTEMA MC_MDPS HYUNDAI NEW ACCENT MC _____	24
1.3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA MDPS _____	25
1.3.2. SEÑALES DE ENTRADA _____	26
a. SENSOR DE TORQUE _____	26
b. SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO _____	28
c. SENSOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR _____	29
1.3.3. SEÑALES DE SALIDA _____	30
a. MOTOR ELÉCTRICO _____	30
b. LÁMPARA DE TESTIGO DE AVERÍA _____	32
1.3.4. MÓDULO DE CONTROL MDPS-CM _____	32
1.3.5. DIAGRAMA DE BLOQUES Y CONECTORES DEL SISTEMA MDPS _____	33
1.3.6. DIAGRAMA DE BLOQUES Y PINES DEL SISTEMA MDPS _____	35
1.3.7. DIAGRAMA DE TERMINALES DE PINES Y NOMENCLATURA DEL MDPS _____	37

CAPÍTULO II

DESPIECE DE UNA COLUMNA DE DIRECCIÓN MC_MDPS HYUNDAI NEW-ACCENT-MC

2.1.MÓDULO _____	38
2.2.MOTOR ELÉCTRICO _____	39
2.3.COLUMNA DE DIRECCIÓN _____	41
2.4.SENSOR DE PAR _____	42
2.5.ANÁLISIS DE LOS INCONVENIENTES QUE PRESENTÓ EL SISTEMA MDPS EN BASE AL DESPIECE DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN _____	46

2.5.1. CASOS DONDE NO SE REQUIERE RECAMBIO DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN _____	46
2.5.2. CASOS DONDE SE REQUIERE EL RECAMBIO DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN _____	47

CAPÍTULO III

DISEÑO ELECTRÓNICO DEL BANCO DIDÁCTICO

3.1. DIAGRAMA GENERAL DE DISEÑO DE SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA DEL BANCO DIDÁCTICO DE DIRECCIÓN ELECTROMECAÁNICA _____	48
3.2. SIMULACIÓN DE SEÑALES _____	49
3.2.1. TOMA DE DATOS EN EL VEHÍCULO HYUNDAI ACCENT Y TABULACIÓN _____	50
3.2.2 TARJETA ELECTRÓNICA PARA SIMULACIÓN DE SEÑALES _____	53
a. PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F877A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO _____	55
b. PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F628A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO _____	55
a. PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F877A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL MOTOR _____	58
b. PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F628A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL MOTOR _____	58
3.3. CONTROL Y RECOLECCIÓN DE SEÑALES DEL SISTEMA MDPS _____	59
3.3.1 LCD _____	60
3.3.2 PULSADORES Y RELES DE RESET, SEÑAL PRINCIPAL Y AUXILIAR DE PAR _____	62
3.3.3 SEÑAL DE BATERÍA, SEÑALES PRINCIPAL Y AUXILIAR DE PAR _____	62
3.3.4. SEÑAL DE CORRIENTE DEL MOTOR _____	63
3.4 COMUNICACIÓN _____	63
3.4.1 RS-232 _____	64
3.4.2 CARACTERÍSTICAS DEL RS232 _____	64
3.4.3 CONECTORES _____	65
3.4.4 CONFIGURACIÓN DE LOS REGISTROS DE COMUNICACIÓN _____	67
3.5. RUTEADO DE PLACAS _____	75

3.6 VISUALIZACIÓN Y CONTROL DE SEÑALES CON INTERFAZ EN LABVIEW _____	77
3.6.1 QUE ES LABVIEW _____	77
a. CONTROLES _____	78
b. FUNCIONES _____	79
c. VI y SubVI _____	79
d. ESTRUCTURAS _____	80
e. TIPOS DE DATOS _____	83
f. COMUNICACIÓN EN SERIE CON LABVIEW _____	84
f.1 VISA Write _____	85
f.3 VISA Close _____	85
3.6.2. INTERFAZ CREADA EN LABVIEW _____	86

CAPÍTULO IV

DISEÑO MECÁNICO DEL BANCO DIDÁCTICO

4.1. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DIDÁCTICO _____	96
4.1.1. PARÁMETROS DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA _____	96
4.1.2. CROQUIS EN 3D DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DIDÁCTICO _	97
4.1.3. ESTUDIO DE ANÁLISIS ESTÁTICO EN SIMULATIONXPRESS ____	98
a. SUJECIONES _____	98
b. CARGAS _____	98
c. ELECCIÓN DEL MATERIAL _____	100
4.1.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO _____	100
a. TENSIÓN DE VON MISES (VON) _____	101
b. DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (URES) _____	101
c. DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE (ESTRN) _____	102
d. FACTOR DE SEGURIDAD (FDS) _____	104
4.2. DISEÑO DEL FRENO DE LA DIRECCIÓN _____	105
4.2.1. PARÁMETROS DEL DISEÑO DEL FRENO _____	105
4.2.2. CROQUIS EN 3D DE LAS PARTES DEL FRENO DE LA DIRECCIÓN _____	105
4.2.3. ENSAMBLAJE DEL FRENO _____	107
4.2.4. CÁLCULOS DEL FRENO _____	107
a. GEOMETRÍA DEL FRENO DE YUGO DE ZAPATA CIRCULAR ____	107
b. FUERZA NORMAL EN EL NEUMÁTICO _____	108
c. FUERZA DEL FRENO _____	108

d. PARÁMETROS DE UN FRENO DE YUGO DE ZAPATA CIRCULAR	108
e. RADIO EFECTIVO	109
f. PAR DE TORCIÓN DE FRENADO	109
4.2.5. ESTUDIO DE ANÁLISIS ESTÁTICO EN SIMULATION	110
a. SUJECIONES	110
b. CARGAS	110
c. ELECCIÓN DEL MATERIAL	111
4.2.6. RESULTADOS DEL ESTUDIO	111
a. TENSIÓN DE VON MISES (VON)	112
b. DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (URES)	112
c. DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE (ESTRN)	113
d. FACTOR DE SEGURIDAD (FDS)	113
4.3. ENSAMBLAJE GENERAL	114

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO

5.1. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA	115
5.1.1. CORTE Y LIMADO	115
5.1.2. PROCESOS DE SOLDADURA	116
5.2. CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SOPORTE	118
5.2.1. CORTE Y LIMADO	118
5.2.2. PROCESOS DE SOLDADURA	119
5.3. ACABADOS	121
5.4. CONSTRUCCIÓN DE LAS PLACAS ELECTRÓNICAS	122
5.5. ENSAMBLAJE	126
5.5.1. PARTES MECÁNICAS	126
5.5.2. PARTES ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS	127

CAPÍTULO VI

FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS DEL BANCO DIDÁCTICO

6.1. PRUEBAS Y COMPROBACIONES SIN EL USO DE UN ORDENADOR	131
--	-----

6.1.1. SENSIBILIDAD DEL VOLANTE AL VARIAR LA CONEXIÓN Y DESCONEXIÓN DE SENSORES _____	131
6.1.2. COMPROBACIÓN DE LA ASISTENCIA AL VARIAR LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO Y LA VELOCIDAD DEL MOTOR _____	132
6.1.3. SIMULACIÓN DE FALLAS Y COMPROBACIONES DEL SISTEMA MDPS _____	133
a. SIMULACIÓN DE FALLAS DEL SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO _____	134
b. SIMULACIÓN DE FALLAS DEL SENSOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR _____	135
c. SIMULACIÓN DE FALLAS DEL SENSOR DE PAR _____	136
d. SIMULACIÓN DE FALLAS DEL MOTOR DE ASISTENCIA _____	139
f. SIMULACIÓN DE FALLAS DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA _____	142
g. SIMULACIÓN DE FALLAS DEL MÓDULO DE CONTROL _____	143
6.2. PRUEBAS Y COMPROBACIONES CON EL USO DE UN ORDENADOR	144
6.2.1. VISUALIZACIÓN DE LAS GRÁFICAS DEL SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO Y SENSOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR _____	144
6.2.2. VISUALIZACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE SEÑALES DEL SENSOR DE PAR CON EL VOLANTE EN REPOSO, EN MOVIMIENTO, GIRO MÁXIMO Y AL DESCONECTAR ALGUNA DE SUS SEÑALES _____	145
6.2.3. VISUALIZACIÓN DE LA GRÁFICA DE CORRIENTE DEL MOTOR CON EL VOLANTE EN REPOSO, EN MOVIMIENTO Y AL TOPE DE GIRO ____	147
6.2.4. ANÁLISIS COMPLETO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA MDPS _____	149

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES _____	150
RECOMENDACIONES _____	152
BIBLIOGRAFÍA _____	154
BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL _____	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de componentes del sistema de dirección	1
Figura 1.2. Sistema de dirección hidráulica	3
Figura 1.3. Tipos de sistemas EPS	6
Figura 1.4. Dirección asistida electrónicamente en la columna	6
Figura 1.5. Dirección asistida electrónicamente en el piñón	7
Figura 1.6. Dirección asistida electrónicamente en la cremallera	7
Figura 1.7. Estructura y componentes del sistema EPS	8
Figura 1.8. Sensor de ángulo de dirección	9
Figura 1.9. Esquema de un sensor de ángulo de dirección	10
Figura 1.10. Principio de funcionamiento del sensor de ángulo	11
Figura 1.11. Sensor de par de dirección	11
Figura 1.12. Esquema de un sensor de par	12
Figura 1.13. Sensor de velocidad de marcha del vehículo	13
Figura 1.14. Sensor de régimen del motor	14
Figura 1.15. Motor eléctrico	15
Figura 1.16. Unidad de control para la dirección	16
Figura 1.17. Testigo de avería	16
Figura 1.18. Funcionamiento de la dirección	17
Figura 1.19. Funcionamiento de la dirección al estacionar	18
Figura 1.20. Funcionamiento de la dirección en ciudad	19
Figura 1.21. Funcionamiento de la dirección en autopista	20
Figura 1.22. Funcionamiento de la dirección en retrogiro activo	21
Figura 1.23. Funcionamiento corrección de marcha recta	22
Figura 1.24. Sistema MC MDPS	25
Figura 1.25. Diagrama de bloque del sistema MDPS	25
Figura 1.26. Posición de los rotores del sensor de torque Hyundai Accent MC	26
Figura 1.27. Señales de salida principal y secundaria del sensor de torque	26
Figura 1.28. Torque vs Corriente del motor eléctrico	27
Figura 1.29. Ubicación del sensor de velocidad del vehículo Hyundai Accent MC	28
Figura 1.30. Señal del sensor de velocidad del vehículo	28
Figura 1.31. Ubicación del PCM Hyundai Accent MC	29
Figura 1.32. Señal de velocidad del motor	30
Figura 1.33. Motor Eléctrico Hyundai Accent MC	31
Figura 1.34. Control de giro de motor DC con puente H	31
Figura 1.35. Lámpara de testigo de avería Hyundai Accent MC	32
Figura 1.36. Módulo de control MDPS-CM	33
Figura 1.37. Módulo interno de control y ubicación	33
Figura 1.38. Diagrama de bloques y conectores del sistema MDPS	34
Figura 1.39. Diagrama de bloques y pines del sistema MDPS	35
Figura 1.40. Diagramas de terminales de pines y nomenclatura del MDPS	37
Figura 2.1. Columna de dirección MDPS-CM	38
Figura 2.2. Desmontaje del Módulo	38
Figura 2.3. Desmontaje de la tapa metálica del módulo	39
Figura 2.4. Desmontaje del motor eléctrico	39

Figura 2.5. Acoplador del motor eléctrico _____	39
Figura 2.6. Eje del tornillo sin fin _____	40
Figura 2.7. Acoplador con grasa y sin grasa _____	40
Figura 2.8. Desmontaje de la carcasa del motor _____	41
Figura 2.9. Partes internas del motor eléctrico _____	41
Figura 2.10. Desmontaje de la columna de dirección _____	41
Figura 2.11. Eje interno de la columna de dirección _____	42
Figura 2.12. Desmontaje de la tapa de la carcasa del sensor de par} _____	42
Figura 2.13. Desmontaje del sensor de par _____	42
Figura 2.14. Desmontaje de la barra de torsión _____	43
Figura 2.15. Sensor de par y corona dentada _____	43
Figura 2.16. Desmontaje de la tapa y rodela del sensor de par _____	43
Figura 2.17. Desmontaje del rotor superior _____	44
Figura 2.18. Rotor superior e inferior del sensor de par _____	44
Figura 2.19. Desmontaje del rotor inferior del sensor de par _____	45
Figura 2.20. Esquema de señales del sensor de par _____	45
Figura 2.22. Tornillo sin fin _____	46
Figura 2.21. Despiece del sensor de par _____	45
Figura 3.13. Ruteado de placa electrónica para tomar la corriente del motor eléctrico _____	76
Figura 3.14. 3D de la placa electrónica principal _____	76
Figura 3.15. 3D de la placa electrónica para tomar la corriente del motor eléctrico _____	76
Figura 3.16. Panel Frontal y Diagrama de Bloques _____	77
Figura 3.17. Controles y Funciones _____	78
Figura 3.18. Submenús de Controles _____	78
Figura 3.19. Submenús de Funciones _____	79
Figura 3.20. Estructuras _____	80
Figura 3.22. Estructura Case _____	81
Figura 3.21. Estructura Sequence _____	80
Figura 3.23. Estructura While _____	81
Figura 3.24. Estructura FOR _____	82
Figura 3.25. Estructura Event _____	82
Figura 3.26. Paleta de conversión numero/texto _____	84
Figura 3.27. VISA Configure Serial Port _____	84
Figura 3.28. VISA Write _____	85
Figura 3.29. VISA Read _____	85
Figura 3.30. VISA Close _____	85
Figura 3.31. Visualización del programa en el Panel Frontal _____	86
Figura 3.32. Visualización del programa en el Panel Frontal _____	86
Figura 3.33. Programación en el Diagrama de bloques de LabVIEW _____	87
Figura 3.34. Configuración de VISA Serial _____	88
Figura 3.35. Arreglos de los pulsadores booleanos a strings _____	89
Figura 3.36. Configuración de la estructura Flad Sequence y VISA _____	90
Figura 3.37. Configuración de Datos leídos por VISA _____	91
Figura 3.38. Voltaje vs torque del sistema MDPS _____	92
Figura 3.39. Programación para graficar las señales del sensor de par y de un indicador del torque aplicado en el volante _____	93

Figura 3.40. Programacion para el indicador del voltaje de batería	93
Figura 3.41. Programación para graficar las señales de velocidad del motor y velocidad del vehículo	94
Figura 3.42. Programacion para los indicadores de velocidad y rpm	94
Figura 3.43 Programacion para la grafica de corriente del motor	95
Figura 3.44. Programacion para boton stop e inicio	95
Figura 4.1. Croquis en 3D de la estructura del banco didáctico	97
Figura 4.2. Sujeciones de la estructura	98
Figura 4.3. Cargas de la estructura	99
Figura 4.4. Elección del material para la estructura	100
Figura 4.5. Tensión de von Mises (VON) de la estructura	101
Figura 4.6. Desplazamiento resultante (URES) de la estructura	102
Figura 4.7. Deformación unitaria equivalente (ESTRN) de la estructura	103
Figura 4.8. Factor de seguridad de la estructura	104
Figura 4.9. Disco de freno	105
Figura 4.10. Pastillas de freno	106
Figura 4.11. Mordaza	106
Figura 4.12. Alojamiento de pastilla	106
Figura 4.13. Pistón	106
Figura 4.14. Tapa de pastilla	106
Figura 4.15. Ensamblaje de freno	107
Figura 4.16. Geometría del freno de yugo de zapata circular	107
Figura 4.17. Sujeciones del freno	110
Figura 4.18. Cargas en el disco y el perno que presiona el pistón	111
Figura 4.19. Tensión de Von Mises (VON) del freno	112
Figura 4.20. Desplazamiento resultante (URES) del freno	112
Figura 4.21. Deformación unitaria equivalente (ESTRN) del freno	113
Figura 4.22. Ensamblaje general del banco didáctico	114
Figura 5.1. Trazado de los perfiles	115
Figura 5.2. Corte de los perfiles	115
Figura 5.3. Soldadura de los perfiles	116
Figura 5.5. Soldadura de los parantes de la estructura	116
Figura 5.4. Soldadura de los perfiles de base	116
Figura 5.6. Soldadura de los perfiles transversales	117
Figura 5.7. Soldadura de los perfiles del tablero de control	117
Figura 5.8. Soldadura de los perfiles inclinados posteriores	117
Figura 5.9. Soldadura de los perfiles que servirán como mesa	118
Figura 5.10. Diseño de los perfiles de soporte de la columna en SolidWorks	118
Figura 5.11. Diseño de los perfiles de soporte de la caja de dirección en SolidWorks	118
Figura 5.12. Diseño de las abrazaderas de la caja de dirección en SolidWorks	119
Figura 5.13. Diseño de los perfiles de soporte del freno de disco	119
Figura 5.14. Diseño de una conexión para el terminal en SolidWorks	119
Figura 5.15. Soldadura de los soporte de la columna de dirección	120
Figura 5.16. Soldadura de los soportes de la caja de dirección	120
Figura 5.17. Construcción de las abrazaderas de la caja de dirección	120
Figura 5.18. Soldadura de los soportes del freno de disco	120

Figura 5.19. Soldadura de la conexión al terminal de dirección _____	121
Figura 5.20. Pintado _____	121
Figura 5.21. Acabado _____	121
Figura 5.22. Impresión del circuito en la hoja térmica _____	122
Figura 5.23. Corte de la baquelita _____	122
Figura 5.24. Pulido de la baquelita _____	122
Figura 5.25. Colocación de la hoja térmica en la baquelita _____	123
Figura 5.26. Planchado de la baquelita _____	123
Figura 5.27. Circuito copiado en la baquelita _____	123
Figura 5.28. Baquelita en recipiente con ácido _____	124
Figura 5.29. Circuito impreso en la baquelita _____	124
Figura 5.30. Pulida de las líneas ruteadas del circuito _____	124
Figura 5.31. Perforación de los orificios de los componentes electrónicos _____	125
Figura 5.32. Placa electrónica principal finalizada _____	125
Figura 5.33. Placa electrónica del motor eléctrico finalizada _____	126
Figura 5.34. Ensamblaje del freno _____	126
Figura 5.35. Ensamblaje de la caja de dirección _____	127
Figura 5.36. Montaje de la placa electrónica principal _____	127
Figura 5.37. Montaje de la batería de 1.3 A y de la placa del motor eléctrico _____	128
Figura 5.38. Montaje del shunt _____	128
Figura 5.39. Montaje de fusibles _____	128
Figura 5.40. Montaje de los botones de control _____	129
Figura 5.41. Montaje del LCD _____	129
Figura 5.42. Montaje del conector a PC _____	130
Figura 5.43. Apariencia final del banco didáctico _____	130
Figura 6.1. Condiciones para Falla C1212 _____	134
Figura 6.2. Condición de Falla C1272 _____	135
Figura 6.3. Comprobación de Falla C1290 _____	136
Figura 6.4. Comprobación de Falla C1291 _____	137
Figura 6.5. Comprobación de Falla C1292 _____	138
Figura 6.6. Comprobación de Falla C1112 _____	139
Figura 6.7. Comprobación de Falla C2412 _____	140
Figura 6.8. Gráficas del sensor de velocidad del vehículo y de la velocidad del motor _____	145
Figura 6.9. Gráfica del sensor de par con el volante en reposo _____	146
Figura 6.10. Gráfica del sensor de par con el volante en movimiento _____	146
Figura 6.11. Gráfica del sensor de par con el volante a giro máximo _____	147
Figura 6.12. Gráficas al desconectar la señal principal y auxiliar de par _____	147
Figura 6.13. Gráfica de la corriente del motor con el volante en reposo _____	148
Figura 6.14. Gráfica de la corriente del motor con el volante en movimiento _____	148
Figura 6.15. Gráfica de la corriente del motor con el volante al tope de giro _____	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Especificaciones técnicas del sensor de torque _____	27
Tabla 1.2 Especificaciones técnicas del sensor de velocidad del vehículo _____	29
Tabla 1.3 Especificaciones técnicas del sensor de velocidad del motor _____	30
Tabla 1.4 Especificaciones del Motor Eléctrico _____	31
Tabla 3.1 Velocidad del vehículo VS Frecuencia _____	51
Tabla 3.2 Velocidad del vehículo VS Frecuencia _____	52
Tabla 3.3 Cálculo de frecuencia de velocidad a periodo en (us) _____	56
Tabla 3.4. Calculo de frecuencia de rpm a periodo en (us) _____	59
Tabla 3.5. Función de pines del LCD _____	61
Tabla 3.6. Descripción de pines del conector DB9 _____	65
Tabla 3.7 Registros del PIC 16F877A _____	67
Tabla 3.8 Configuración del Registro INTCON _____	68
Tabla 3.9 Configuración del Registro PIE1 _____	69
Tabla 3.10. Configuración del Registro RCSTA _____	70
Tabla 3.11. Configuración del Registro TXSTA _____	71
Tabla 3.12. Configuración del Registro spbrg _____	72
Figura 3.13. Configuración del Registro PIR1 _____	73
Tabla 4.1. Resultados del estudio de la estructura _____	100
Tabla 4.2. Parámetros de un freno de yugo de zapata circular _____	109
Tabla 4.3. Resultados del estudio del freno _____	111
Tabla 6.1. Sensibilidad del volante al variar la conexión y desconexión desensores _____	131
Tabla 6.2. Comprobación de la asistencia al variar la velocidad del vehículo y la velocidad del motor _____	132
Tabla 6.3. Fallas del sistema MDPS _____	133
Tabla 6.4. Simulación de Falla C1212 _____	134
Tabla 6.5. Simulación de Falla C1272 _____	135
Tabla 6.6. Simulación de Falla C1290 _____	136
Tabla 6.7. Simulación de Falla C1291 _____	137
Tabla 6.8. Comprobación de Falla C1292 _____	138
Tabla 6.9. Comprobación de Falla C1112 _____	139
Tabla 6.10. Comprobación de Falla C2412 _____	139
Tabla 6.11. Simulación de la Función OHP del Motor Eléctrico _____	141
Tabla 6.12. Análisis completo del funcionamiento del sistema MDPS _____	149

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A - PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F877A_____	155
ANEXO B- PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F628A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO_____	160
ANEXO C - PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F628A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL MOTOR _____	161
ANEXO D - MANUAL DE USO DEL TABLERO DE CONTROL_____	162
ANEXO E - MANUAL DE INSTALACIÓN DEL HARDWARE DEL CONECTOR USB-SERIAL_____	167
ANEXO F- MANUAL DE INSTALACIÓN DEL SOFTWARE_____	170
ANEXO G - MANUAL DE USO DEL SOFTWARE_____	172

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. GENERALIDADES

1.1.1. SISTEMA DE DIRECCIÓN¹

La dirección es el conjunto de mecanismos que tienen la misión de orientar las ruedas directrices y adaptarla al trazado de la vía por la que circula, así como para realizar las distintas maniobras que su conducción exige. En la Figura 1.1 se muestra el esquema de componentes del sistema de dirección.

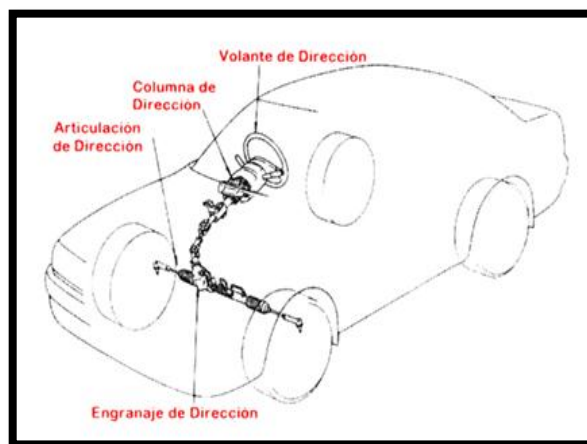


Figura 1.1. Esquema de componentes del sistema de dirección
Fuente:<http://www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-40.html>

1.1.2. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DIRECCIÓN²

En los primeros vehículos el accionamiento de la dirección se hacía mediante una palanca o manubrio.

Posteriormente por razones prácticas se adoptó el volante redondo que hasta

¹<http://suspensionydireccion.bligoo.com/content/view/192461/Sistema-de-Direccion.html>

²<http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/mecanica-del-automovil.html>

hoy conocemos, además se hizo necesario darle firmeza al sistema logrando cierta irreversibilidad, sobre todo cuando las ruedas chocaban contra un objeto sólido o ante las irregularidades del camino.

Adicionalmente el mover el volante debía ser una maniobra sencilla, y suave de ejecutar por lo cual se montaron los primeros sistemas de desmultiplicación (caja de tornillo sin fin y sector dentado, de tornillo sin fin y tuerca deslizante, de palanca y leva, de tornillo sin fin y rodillo, de tornillo sin fin y tuerca con bolas circulantes) que aumentaban la suavidad de operación del sistema.

Con el paso de los años se adoptaron sistemas de asistencia para la dirección.

Cuando se comenzaron a utilizar en los Estados Unidos, sistemas de asistencia de dirección, que sumados a la desmultiplicación lograda, hacían muy peligroso el conducir un vehículo, ya que la dirección quedaba demasiado suave y sensible.

Este problema motivó el desarrollo de dispositivos que endurecieran la dirección, a medida que aumentaba la velocidad de desplazamiento del vehículo.

En la Figura 1.2 se observa una caja de dirección hidráulica que tiene la finalidad de aportar un esfuerzo que venga a añadirse al que el conductor efectúa, sobre el volante, permitiendo una menor desmultiplicación en el mecanismo de mando y un volante de menor diámetro, con lo que resulta una dirección más sensible y la conducción más cómoda. Este sistema tiene la función de canalizar a alta presión (60 a 100 bar) procedente de una bomba accionada por el motor, haciéndolo llegar a uno u otro lado del émbolo de un cilindro de trabajo, según el sentido de giro del volante.

Una parte importante de las cajas de dirección hidráulicas es la bomba de asistencia del líquido hidráulico.

La bomba de asistencia es la encargada de generar la alta presión del

aceite necesaria para el funcionamiento de la caja. El movimiento lo recibe del cigüeñal por medio de poleas y correa; en ocasiones, una correa única hace girar a la bomba de asistencia, a la bomba de agua y al alternador.

El tipo de bomba más utilizado es el de paletas. Lleva un regulador el cual regula la presión del sistema y genera caudal a unos 80 bares.

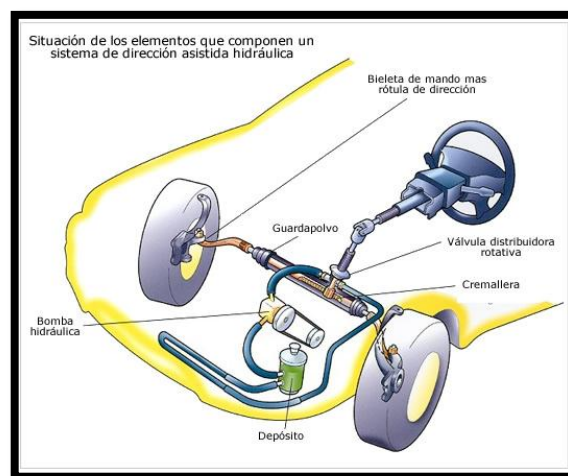


Figura 1.2. Sistema de dirección hidráulica

Fuente:www.aficionadosalamecanica.com/direccion-asistida-hidra.htm

En la actualidad se ha visto la necesidad de utilizar direcciones asistidas electrónicamente ya que el sistema brinda mayores beneficios y ayuda a proteger el medio ambiente al no utilizar líquido hidráulico para la asistencia y se aprovecha de mejor manera la potencia del motor de combustión debido a que ya no se le resta la potencia que anteriormente le entregaba a la bomba de dirección.

1.1.3. CUALIDADES QUE DEBE REUNIR UN SISTEMA DE DIRECCIÓN³

Suave y cómoda: El manejo de la dirección se ha de realizar sin esfuerzo, ya que si la dirección es dura, la conducción se hace difícil y fatigosa, lo que

³<http://www.microcaos.net/ocio/motor/el-sistema-de-direccion-del-automovil/>

representa un cierto peligro por la dificultad que representa su accionamiento.

Seguridad: La dirección es uno de los principales factores de seguridad activa. Esta seguridad depende del estudio y construcción del sistema, la calidad de los materiales empleados y de un correcto mantenimiento.

Precisión: La precisión consiste en que la dirección responda con exactitud en función de las circunstancias, para que las maniobras del conductor se transmitan con precisión. Para ello no ha de haber holguras excesivas entre los órganos de la dirección; las cotas de la dirección han de ser correctas, el desgaste debe ser simétrico en los neumáticos, las ruedas estar bien equilibradas y la presión de los neumáticos correcta.

Irreversibilidad: La dirección debe ser semirreversible. Consiste en que el volante ha de transmitir movimiento a las ruedas, pero éstas, a pesar de las irregularidades del terreno, no deben transmitir las oscilaciones al volante.

La semirreversibilidad permite que las ruedas recuperen su posición media con un pequeño esfuerzo por parte del conductor después de girar el volante.

Estable: Cuando, circulando en recta, al soltar el volante no se desvía el vehículo de su trayectoria.

Progresiva: Cuando la apertura de las ruedas, para giros iguales del volante, va en aumento.

1.1.4. DIRECCIONES ASISTIDAS

Las direcciones asistidas constan de un mecanismo por el cual se reduce el esfuerzo que debe hacer el conductor para mover el volante.

Actualmente hay tres sistemas para hacerlo. Uno es hidráulico, consiste en una bomba movida por una polea conectada al motor. Otro es electrohidráulico, en el que un motor eléctrico reemplaza a la bomba movida por polea, pero que utiliza líquido para transmitir la presión hacia

la dirección; a diferencia de la bomba movida por polea, el motor no está girando constantemente. El tercero es eléctrico, en el que un motor eléctrico está directamente conectado al mecanismo de dirección.⁴

Sin embargo también existen asistencias a la dirección que no han llegado a popularizarse del todo como son: el vacío de la admisión o el proporcionado por una bomba de vacío (servodirecciones) y de aire comprimido proporcionado por un compresor que también sirve para accionar los frenos (neumáticas).

1.2. DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTRÓNICAMENTE (EPS- ELECTRONIC POWERED STEERING)

La dirección eléctrica se empezó a utilizar en vehículos pequeños (utilitarios) pero ya se está utilizando en vehículos del segmento medio.

En este tipo de dirección se suprime todo el circuito hidráulico formado por la bomba de alta presión, depósito, válvula distribuidora y canalizaciones que formaban parte de las servodirecciones hidráulicas.

Todo esto se sustituye por un motor eléctrico que acciona una reductora (corona + tornillo sin fin) que a su vez mueve la cremallera de la dirección.

Cuando el vehículo está parado la asistencia de la dirección será mayor al igual que en velocidades bajas del vehículo, condiciones en las que se necesita su asistencia para la suavidad del giro de las ruedas, mientras que a velocidades altas disminuirá la asistencia.

1.2.1 TIPOS DE SISTEMA EPS

Según el lugar donde se aplica la asistencia ya sea por razones de seguridad, economía o espacio las direcciones eléctricas se dividen en:

⁴<http://www.km77.com/glosario/d/direasis.asp>

- C-EPS: Dirección asistida electrónicamente en la columna
- P-EPS: Dirección asistida electrónicamente en el piñón
- R-EPS: Dirección asistida electrónicamente en la cremallera




Types	C-EPS ⁵	P-EPS ⁵	R-EPS ⁵
Layout			
Location of the motor	Column	Pinion	Rack
Motor	25 ~ 60A	30 ~ 60A	60 ~ 90A
Output	~ 600Kgf	~ 700Kgf	700 ~ 1,000Kgf

Figura 1.3. Tipos de sistemas EPS

Fuente:EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

a. DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTRÓNICAMENTE EN LA COLUMNA⁵

Es el más difundido y el menos costoso; se monta sobretodo en vehículos pequeños, cuyo peso sobre el tren delantero es bajo. El motor eléctrico se instala sobre la parte de la columna de dirección situada en el habitáculo. De esta manera, el problema de las altas temperaturas debajo del capó está resuelto.

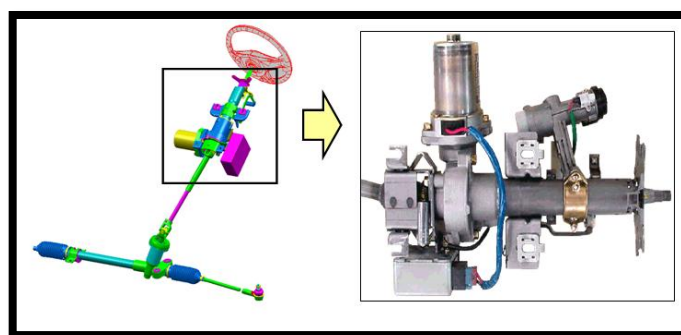


Figura 1.4. Dirección asistida electrónicamente en la columna⁶

Fuente: EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

⁵Juan Carlos Barrera S. Escuela de Ingeniería Departamento de Mecánica Automotriz y Autotrónica SDS2201 - Sistemas de Dirección y Suspensión 2006

⁶EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

b. DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTRÓNICAMENTE EN EL PIÑÓN⁷

Es el más simple en términos de implantación. El motor eléctrico se encuentra al pie de la columna de dirección a la entrada de la cremallera.

De esta manera, la columna y los cardanes no se ven afectadas por el par suministrado por el motor eléctrico y no deben estar sobredimensionadas.

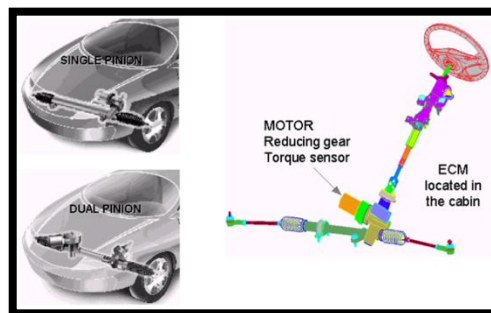


Figura 1.5. Dirección asistida electrónicamente en el piñón

Fuente: EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

c. DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTRÓNICAMENTE EN LA CREMALLERA⁸

Es el montaje de los vehículos de gama alta, ya que el peso sobre el eje delantero es superior a una tonelada.

El motor eléctrico está integrado en la cremallera.

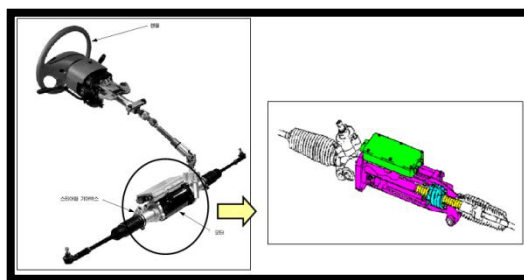


Figura 1.6. Dirección asistida electrónicamente en la cremallera

Fuente: EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

⁷Juan Carlos Barrera S. Escuela de Ingeniería Departamento de Mecánica Automotriz y Autotrónica SDS2201 - Sistemas de Dirección y Suspensión 2006

⁸Juan Carlos Barrera S. Escuela de Ingeniería Departamento de Mecánica Automotriz y Autotrónica SDS2201 - Sistemas de Dirección y Suspensión 2006

1.2.2. ESTRUCTURA Y COMPONENTES DEL SISTEMA EPS

En la Figura 1.7 se ve de una forma general la estructura y componentes del sistema EPS.

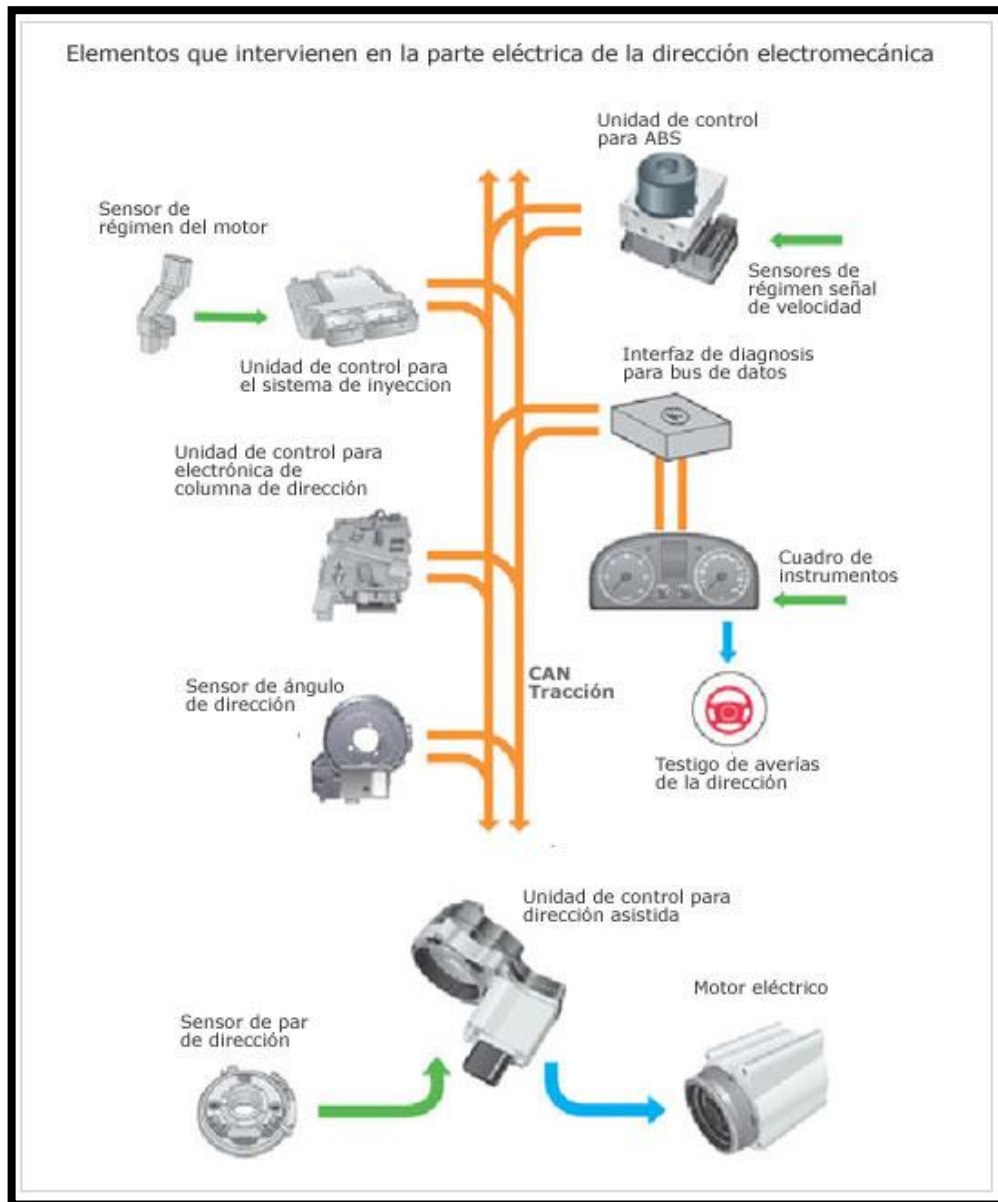


Figura 1.7. Estructura y componentes del sistema EPS
Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

a. SENSOR DE ÁNGULO DE DIRECCIÓN

El sensor de ángulo de dirección va situado detrás del anillo retractor con el anillo colector para el sistema airbag. Se instala en la columna de dirección.

Suministra la señal para la determinación del ángulo de dirección, destinándola a la unidad de control a través del CAN-Bus de datos.

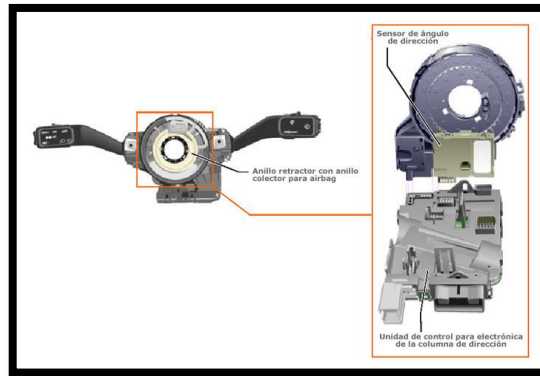


Figura 1.8. Sensor de ángulo de dirección
Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm.

Los componentes básicos del sensor de ángulo de dirección son:

- Un disco de codificación con dos anillos
- Parejas de barreras luminosas con una fuente de luz y un sensor óptico cada una.

El disco de codificación consta de dos anillos, el anillo exterior de valores absolutos y el anillo interior de valores incrementales.

El anillo de incrementos está dividido en 5 segmentos de 72° cada uno y es explorado por una pareja de barreras luminosas. El anillo tiene almenas en el segmento. El orden de sucesión de las almenas es invariable dentro de un mismo segmento, pero difiere de un segmento a otro. De ahí resulta la codificación de los segmentos.

El anillo de absolutos viene a determinar el ángulo. Es explorado por 6 parejas de barreras luminosas. El sensor de ángulo de dirección puede detectar 1044° de ángulo (casi 3 vueltas de volante). Se dedica a sumar los grados angulares. De esa forma, al sobrepasar la marca de los 360° reconoce que se ha ejecutado una vuelta completa del volante.

La configuración específica de la caja de la dirección permite dar 2,76 vueltas al volante de la dirección.

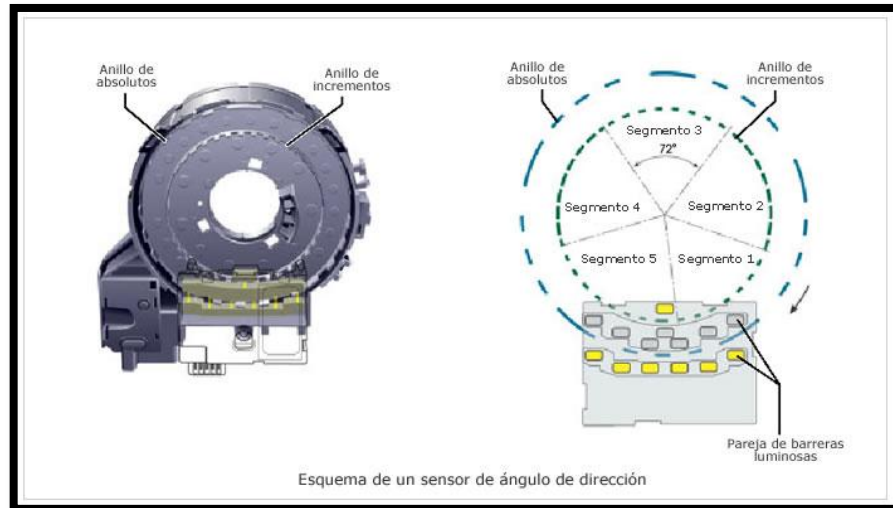


Figura 1.9. Esquema de un sensor de ángulo de dirección
Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

Si por simplificar la explicación se contempla solamente el anillo de incrementos, se aprecia por un lado del anillo la fuente luminosa y por el otro el sensor óptico (Figura 1.10.).

La medición del ángulo se realiza según el principio de la barrera luminosa. Cuando la luz incide en el sensor al pasar por una almena del anillo se engendra una señal de tensión. Al cubrirse la fuente luminosa se vuelve a interrumpir la tensión de la señal.

Al mover ahora el anillo de incrementos se produce una secuencia de señales de tensión.

De esa misma forma se genera una secuencia de señales de tensión en cada pareja de barreras luminosas aplicadas al anillo de valores absolutos. Todas las secuencias de señales de tensión se procesan en la unidad de control para electrónica de la columna de dirección.

Previa comparación de las señales, el sistema puede calcular a qué grados han sido movidos los anillos. Durante esa operación determina también el punto de inicio del movimiento en el anillo de valores absolutos.⁹

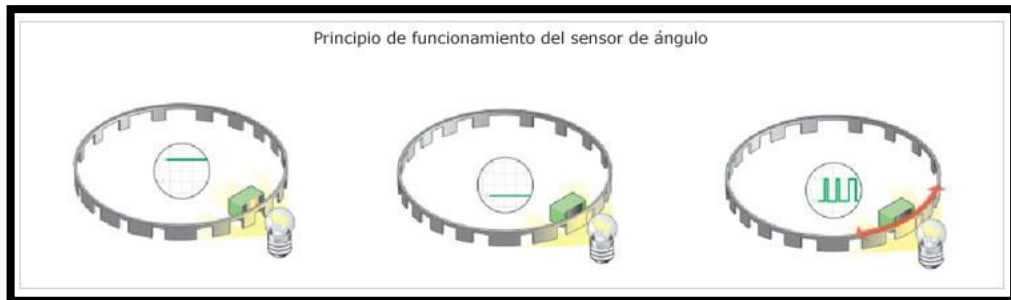


Figura 1.10. Principio de funcionamiento del sensor de ángulo
Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

b. SENSOR DE PAR DE DIRECCIÓN

El par de mando a la dirección se mide con ayuda del sensor de par de dirección directamente en el piñón de dirección. El sensor trabaja según el principio magnetorresistivo.

El sensor del par de giro acopla la columna y la caja de dirección a través de una barra de torsión. El elemento de conexión hacia la columna posee una rueda polar magnética, en la que se alternan 24 zonas de diferente polaridad magnética.

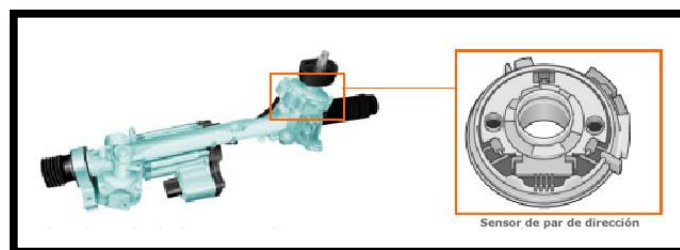


Figura 1.11. Sensor de par de dirección
Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

Para el análisis de los pares de fuerza se emplean dos polos respectivamente.

⁹www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

La contrapieza es un elemento sensor magnetorresistivo, que va fijado a la pieza de conexión hacia la caja de la dirección. Al ser movido el volante se decalan ambas piezas de conexión entre sí en función del par que interviene.

En virtud de que con ello también se decala la rueda polar magnética con respecto al elemento sensor, resulta posible medir el par aplicado a la dirección de esa forma y se lo puede transmitir a la unidad de control en forma de señal.¹⁰

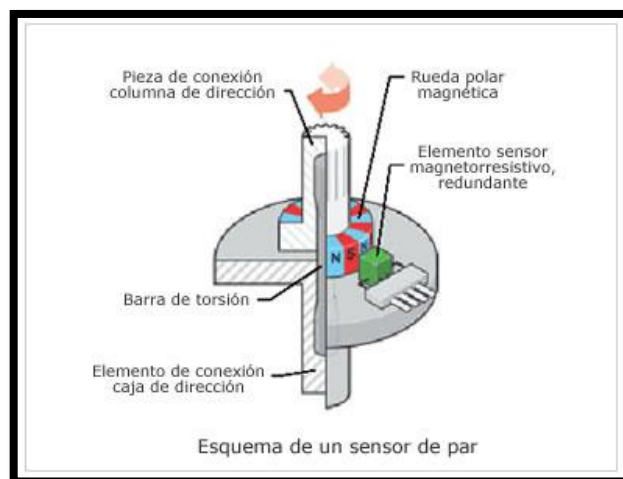


Figura 1.12. Esquema de un sensor de par

Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

c. SENSOR DE RÉGIMEN DEL ROTOR

El sensor de régimen del rotor es parte integrante del motor eléctrico de la dirección. No es accesible por fuera.

El sensor de régimen del rotor trabaja según el principio magnetorresistivo y su diseño es igual que el del sensor del par de dirección.

Detecta el régimen de revoluciones del rotor que tiene el motor eléctrico para la dirección asistida electromecánica; este dato se necesita para poder excitar el motor con la debida precisión.

¹⁰www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

d. SENSOR DE VELOCIDAD DE MARCHA DEL VEHÍCULO¹¹

La señal de la velocidad de marcha del vehículo es suministrada por la unidad de control para ABS o por el sensor de velocidad que se encuentra en el eje de salida de la caja de velocidades.

El sensor de velocidad del vehículo VSS (Vehicle Speed Sensor) es un captador magnético de imán permanente que proporciona una señal de corriente alterna. Al aumentar la velocidad del vehículo la frecuencia y el voltaje aumentan.

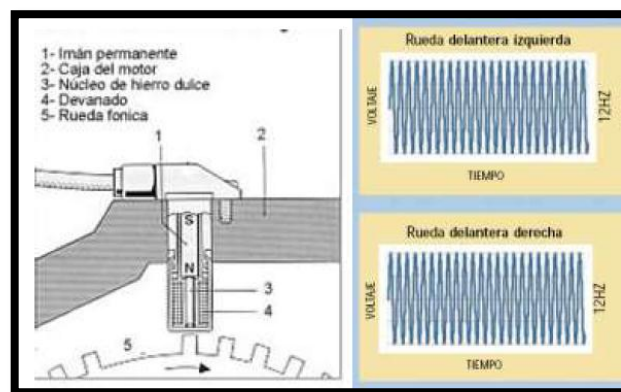


Figura 1.13. Sensor de velocidad de marcha del vehículo
Fuente: www.mecanicavirtual.org/sensores2.htm

e. SENSOR DE RÉGIMEN DEL MOTOR

El sensor de régimen del motor es un sensor tipo inductivo o de efecto Hall.

Va atornillado a la carcasa de la brida de estanqueidad del cigüeñal.

La señal del sensor de régimen del motor es utilizada por la unidad de control del motor para detectar el número de vueltas del motor y la posición exacta del cigüeñal.

¹¹www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

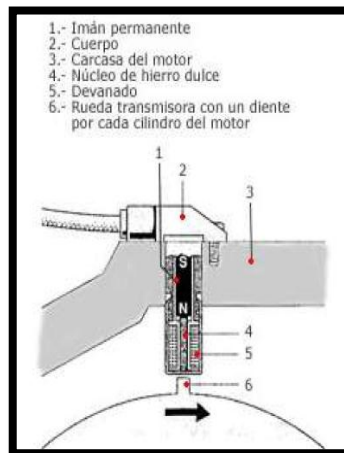


Figura 1.14. Sensor de régimen del motor
 Fuente: www.mecanicavirtual.org/sensores2.htm

f. MOTOR ELÉCTRICO

El motor eléctrico es una versión de motor asíncrono sin escobillas.

Desarrolla un par máximo de 4,1 Nm para servoasistencia a la dirección.

Los motores asíncronos no poseen campo magnético permanente ni excitación eléctrica.

La característica que les da el nombre reside en una diferencia entre la frecuencia de la tensión aplicada y la frecuencia de giro del motor. Estas dos frecuencias no son iguales, en virtud de lo cual se trata de un fenómeno de asincronía.

Los motores asíncronos son de construcción sencilla (sin escobillas), lo cual los hace muy fiables en su funcionamiento. Tienen una respuesta muy breve, con lo cual resultan adecuados para movimientos muy rápidos de la dirección.

El motor eléctrico va integrado en una carcasa de aluminio. A través de un engranaje de sin fin y un piñón de accionamiento ataca contra la cremallera y transmite así la fuerza de servoasistencia para la dirección.

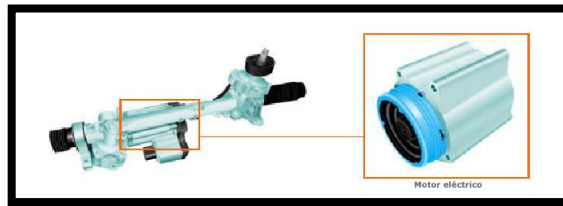


Figura 1.15. Motor eléctrico

Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

g. UNIDAD DE CONTROL PARA LA DIRECCIÓN

La unidad de control para dirección asistida va fijada directamente al motor eléctrico, con lo cual se suprime un cableado complejo hacia los componentes de la servodirección.

Basándose en las señales de entrada, tales como:

- Señal del sensor de ángulo de dirección
- Señal del sensor de régimen del motor
- Señal del par de dirección y el régimen del rotor
- Señal de velocidad de marcha del vehículo
- Señal de que se identificó la llave de contacto en la unidad de control.

La unidad de control calcula las necesidades momentáneas de servoasistencia para la dirección. Calcula la intensidad de corriente excitadora y excita correspondientemente el motor eléctrico.

La unidad de control tiene integrado un sensor térmico para detectar la temperatura del sistema de dirección. Si la temperatura asciende por encima de los 100 °C se reduce de forma continua la servoasistencia para la dirección.

Si la servoasistencia a la dirección cae por debajo de un valor de 60%, el testigo luminoso para dirección asistida se enciende en amarillo y se inscribe una avería en la memoria.

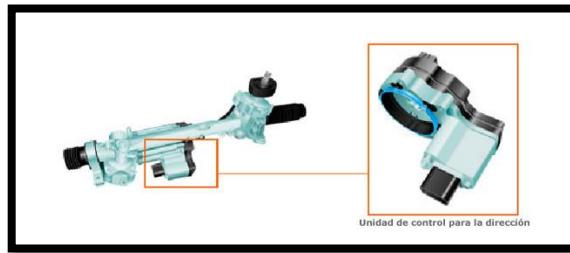


Figura 1.16. Unidad de control para la dirección
 Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

h. TESTIGO LUMINOSO DE AVERÍAS

El testigo luminoso se encuentra en la unidad indicadora del cuadro de instrumentos. Se utiliza para avisar sobre funciones anómalas o fallos en la dirección asistida electromecánica.

El testigo luminoso puede adoptar dos diferentes colores para indicar funciones anómalas. Si se enciende en amarillo, significa un aviso de menor importancia. Si el testigo luminoso se enciende en rojo hay que acudir de inmediato a un taller. Cuando el testigo luminoso se enciende en rojo suena al mismo tiempo una señal de aviso acústico en forma de un gong triple.

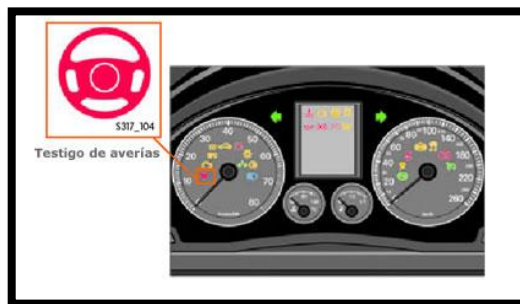


Figura 1.17. Testigo de avería
 Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

1.2.3. FUNCIONAMIENTO DE LA DIRECCIÓN

El ciclo de servo asistencia de dirección comienza al momento en que el conductor mueve el volante.

Como respuesta al par de giro del volante se tuerce una barra de torsión en la caja de dirección.

En función del par de dirección, la velocidad de marcha del vehículo, el régimen del motor de combustión, el ángulo de dirección, la velocidad de mando de la dirección y las curvas características implementadas en la unidad de control, ésta calcula el par de servoasistencia necesario para el caso concreto y excita correspondientemente el motor eléctrico.

La servoasistencia a la dirección se realiza a través de un segundo piñón que actúa paralelamente sobre la cremallera. Este piñón es accionado por un motor eléctrico. El motor ataca hacia la cremallera a través de un engranaje de sin fin y un piñón de accionamiento y transmite así la fuerza de asistencia para la dirección.

La suma compuesta por el par de giro aplicado al volante y el par de servoasistencia constituye el par eficaz en la caja de dirección para el movimiento de la cremallera.¹²

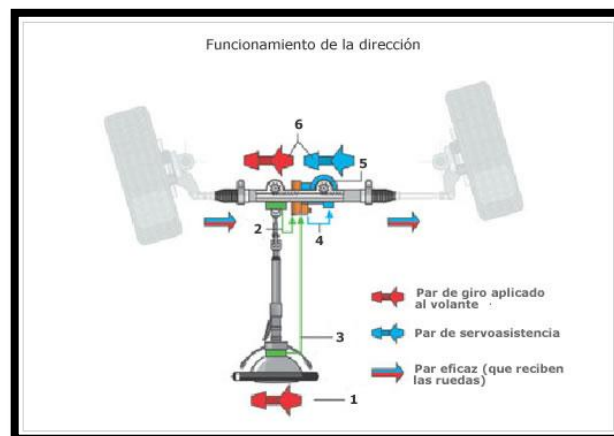


Figura 1.18. Funcionamiento de la dirección
Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

a. FUNCIONAMIENTO AL ESTACIONAR

El conductor gira bastante el volante para poder estacionar.

¹²Sistema de dirección- Dirección electromecánica de asistencia variable,2007,www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

La barra de torsión se tuerce. Previo análisis de las magnitudes correspondientes al par de dirección, la velocidad de marcha del vehículo de 0 km/h, el régimen del motor de combustión, el pronunciado ángulo de dirección, la velocidad de mando de la dirección y en función de las curvas características implementadas en la unidad de control para $v = 0$ km/h, la unidad de control determina la necesidad de aportar un intenso par de servoasistencia y excita correspondientemente el motor eléctrico.

En las maniobras de estacionamiento se aporta de ese modo la servoasistencia máxima para la dirección a través del segundo piñón que actúa paralelamente sobre la cremallera.

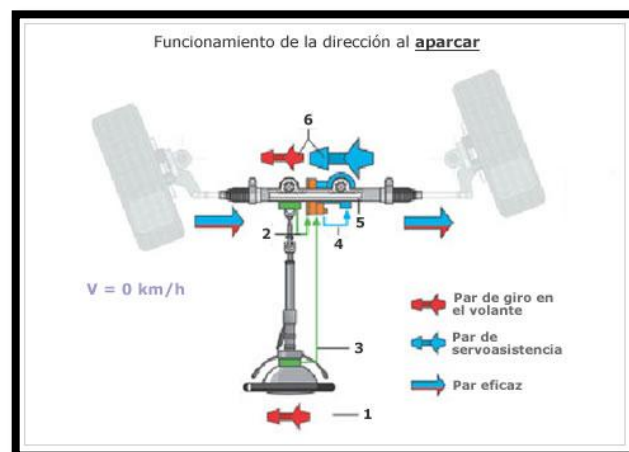


Figura 1.19. Funcionamiento de la dirección al estacionar
Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

b. FUNCIONAMIENTO CIRCULANDO EN CIUDAD

El conductor mueve el volante al recorrer una curva en tráfico urbano.

La barra de torsión se tuerce. Previo análisis del par de dirección de mediana magnitud, la velocidad de marcha del vehículo de 50 km/h, el régimen del motor de combustión, un ángulo de dirección de mediana magnitud y la velocidad con que se mueve el volante, así como en función de las curvas características implementadas en la unidad de control para $v = 50$ km/h, la unidad de control determina la necesidad de aportar un par

de servoasistencia de mediana magnitud y excita correspondientemente el motor eléctrico.

Al recorrer una curva se produce así una servoasistencia de mediana magnitud para la dirección a través del segundo piñón, que actúa paralelamente sobre la cremallera.

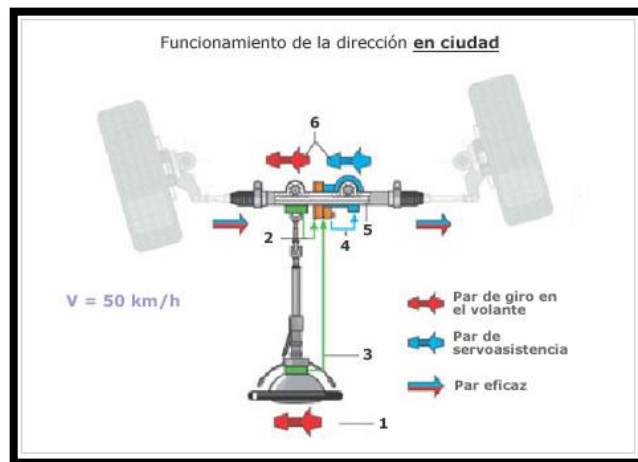


Figura 1.20. Funcionamiento de la dirección en ciudad
Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

c. FUNCIONAMIENTO CIRCULANDO EN AUTOPISTA

Al cambiar de carril, el conductor mueve el volante en pequeña magnitud.

La barra de torsión se tuerce. Previo análisis del par de dirección de baja magnitud, la velocidad de marcha del vehículo de 100 km/h, el régimen del motor de combustión, un pequeño ángulo de dirección y la velocidad con que se acciona el volante, y en función de las curvas características implementadas en la unidad de control para $v = 100 \text{ km/h}$, la unidad de control determina la necesidad de aportar ya sea un par de dirección leve o no aportar ningún par de dirección, y excita correspondientemente el motor eléctrico.

Al mover la dirección circulando en autopista se realiza de esta forma la servoasistencia de baja magnitud o bien no se aporta ninguna

servoasistencia a través del segundo piñón que actúa paralelamente sobre la cremallera.

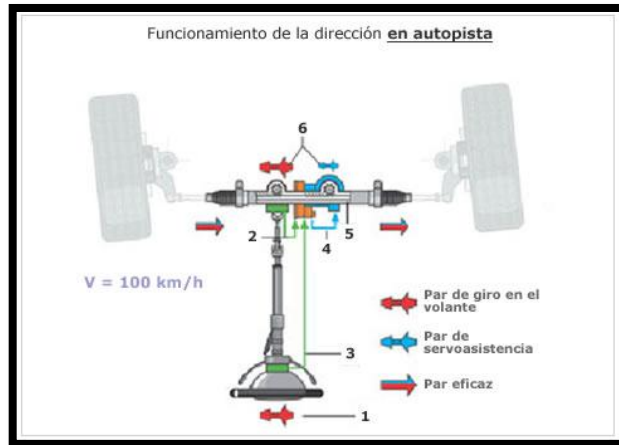


Figura 1.21. Funcionamiento de la dirección en autopista
Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

d. FUNCIONAMIENTO EN RETRO GIRO ACTIVO

Si el conductor reduce el par de dirección al circular en una curva, la barra de torsión se relaja correspondientemente.

En combinación con el descenso del par de dirección, teniendo en cuenta el ángulo de dirección y la velocidad con que se acciona el volante, el sistema calcula una velocidad teórica para el retrogiro y la compara con la velocidad de mando de la dirección. De ahí se calcula el par de retrogiro.

La geometría del eje hace que se produzcan fuerzas de retrogiro en las ruedas viradas. Las fricciones en el sistema de la dirección y del eje suelen hacer que las fuerzas de retrogiro sean demasiado bajas como para poder devolver las ruedas a su posición de marcha recta.

Previo análisis del par de dirección, la velocidad de marcha del vehículo, el régimen del motor de combustión, el ángulo de dirección y la velocidad con que se gira el volante, así como en función de las curvas

características implementadas en la unidad de control, ésta calcula el par que debe aportar el motor eléctrico para el retrogiro de la dirección.

El motor es excitado correspondientemente y las ruedas vuelven a la posición de marcha recta.

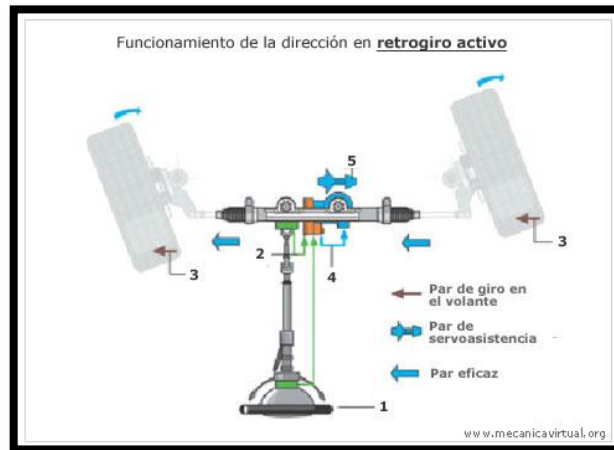


Figura 1.22. Funcionamiento de la dirección en retrogiro activo
Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

e. FUNCIONAMIENTO CORRECCIÓN DE MARCHA RECTA

La corrección de marcha recta es una función que se deriva del retrogiro activo. Aquí se genera un par de servoasistencia para que el vehículo vuelva a la marcha rectilínea exenta de momentos de fuerza. El sistema distingue entre un algoritmo de corto y uno de largo plazo.

El algoritmo de largo plazo está dedicado a compensar las discrepancias a largo plazo que surgen con respecto a la marcha rectilínea, por ejemplo debido al cambio de neumáticos de verano por neumáticos de invierno (usados).

El algoritmo de corto plazo corrige discrepancias de duración breve. Con ello se respalda al conductor, evitando que por ejemplo tenga que «contravolantear» continuamente al circular habiendo viento lateral constante.

Una fuerza lateral constante, por ejemplo la del viento lateral, actúa sobre el vehículo.

El conductor tuerce un poco el volante, para mantener el vehículo en marcha recta.

Analizando el par de dirección, la velocidad de marcha del vehículo, el régimen del motor de combustión, el ángulo de dirección, la velocidad de mando de la dirección y actuando en función de las curvas características implementadas en la unidad de control, ésta calcula el par que debe aportar el motor eléctrico para la corrección de la marcha recta.

El motor eléctrico de la dirección es excitado correspondientemente. El vehículo adopta la trayectoria de marcha recta. El conductor ya no tiene que dar «contravolanteo».¹³

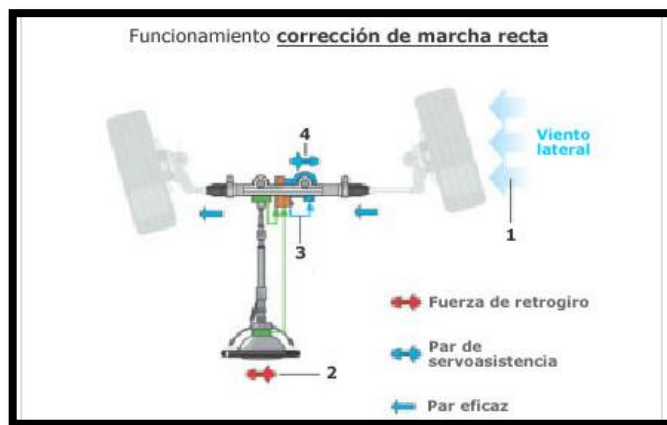


Figura 1.23. Funcionamiento corrección de marcha recta
Fuente: www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

1.2.4. VENTAJAS DE LA DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTROMECAÁNICA

Una ventaja de la dirección asistida electromecánica, en comparación con los sistemas hidráulicos, reside sobre todo en la particularidad de que se puede renunciar a la presencia del sistema hidráulico.

¹³www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm

De ahí se derivan otras ventajas, tales como:

- Se suprimen los componentes hidráulicos, como la bomba de aceite para servoasistencia, entubados flexibles, depósitos de aceite y filtros.
- Se elimina el líquido hidráulico.
- Reducción del espacio requerido.
- Menor sonoridad.
- Reducción del consumo energético.
- Se elimina el complejo entubado flexible y cableado. Los componentes de servoasistencia van instalados y actúan directamente en la caja de la dirección.

Se consigue una clara reducción del consumo de energía. A diferencia de la dirección hidráulica, que requiere un caudal volumétrico permanente, la dirección asistida electromecánica solamente consume energía cuando realmente se mueve la dirección.

Con esta absorción de potencia en función de las necesidades se reduce también el consumo de combustible.

El conductor obtiene una sensación óptima al volante en cualquier situación, a través de:

- Una buena estabilidad rectilínea (el retrogiro de la dirección a la posición de marcha recta es apoyado activamente por la dirección asistida electromecánica),
- Una respuesta directa, pero suave a las instrucciones de dirección,
- Sin reacciones desagradables sobre pavimento irregular.
- Mayor precisión al poder estar conectada mediante la red CAN a sistemas ABS, control motor, ESP (control de estabilidad).
- La reducción del consumo energético sobre 100 kilómetros es de hasta 0,2 litros.

1.2.5. DESVENTAJAS DE LA DIRECCIÓN ASISTIDA ELECTROMECAÁNICA

Depender de la energía eléctrica suministrada por una batería por lo que el sistema de carga debería encontrarse en buenas condiciones.

Estar limitada en su aplicación a todos los vehículos (limitación que no tiene el sistema de dirección hidráulica) ya que dependiendo del peso del vehículo y del tamaño de las ruedas, este sistema no es válido.

A mayor peso del vehículo más grandes son las ruedas por lo que mayor es el esfuerzo que tiene que desarrollar el sistema de dirección, teniendo en cuenta que en las direcciones eléctricas toda la fuerza de asistencia la genera un motor eléctrico, cuanto mayor sea la asistencia a generar por la dirección, mayor tendrá que ser el tamaño del motor, por lo que mayor será la intensidad eléctrica consumida por el mismo.

1.3. SISTEMA MC_MDPS HYUNDAI NEW ACCENT MC¹⁴

El sistema MC¹⁵_MDPS (Motor Driven Power Steering) o EPS (Electrical Power Steering) fue desarrollado para ayudar a direccionar el vehículo con un motor eléctrico situado en la columna de dirección sin la necesidad de un sistema hidráulico.

Este sistema controla el torque del motor eléctrico según las condiciones de manejo de una manera óptima y con una reducción del consumo de combustible.

Además es un sistema amigable con el medio ambiente debido a que no utiliza aceite hidráulico para la asistencia y se reduce el peso, eliminando la línea de presión hidráulica en el compartimiento del motor.

¹⁴EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

¹⁵ MC (Mando Corp.) Hyundai Siglas pertenecientes al fabricante de los sistemas de Hyundai Accent MC

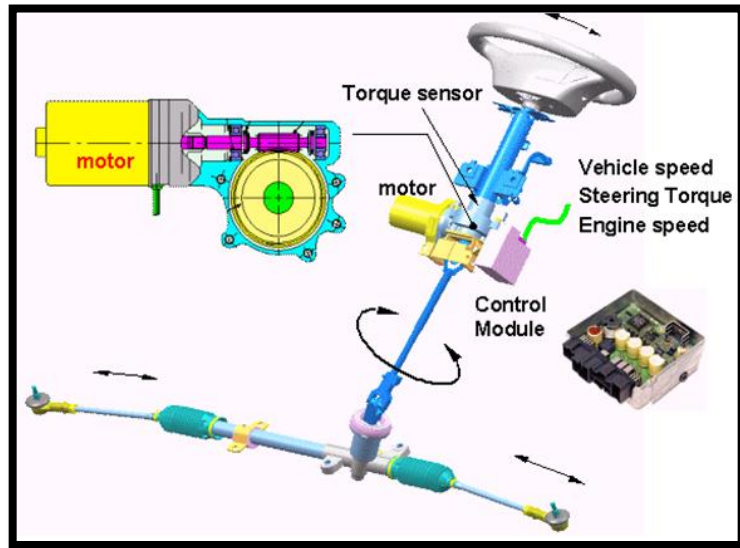


Figura 1.24. Sistema MC MDPS

Fuente: EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

1.3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA MDPS¹⁶

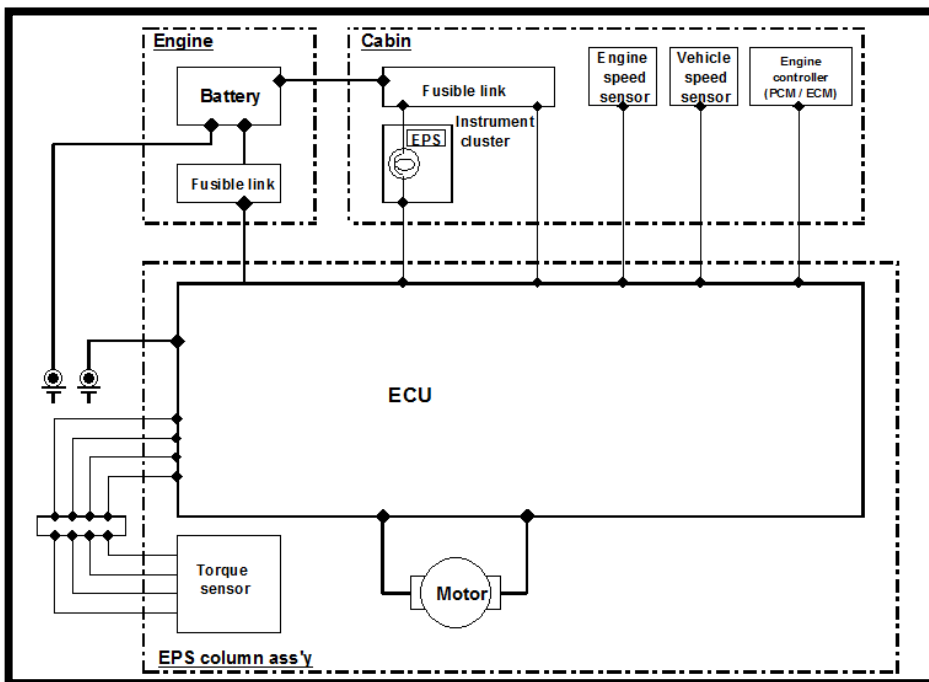


Figura 1.25. Diagrama de bloque del sistema MDPS

Fuente: EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

¹⁶EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

1.3.2. SEÑALES DE ENTRADA

a. SENSOR DE TORQUE

El Sistema MDPS de Hyundai a diferencia de sistemas de otras marcas que utilizan sensores de torque tipo ópticos o magnetorresistivos, utiliza uno del tipo potenciómetro, es decir una resistencia variable donde el ángulo de giro de la barra se transforma en diferencial de voltaje.

Este sensor consiste en dos rotores unidos por una barra de torsión, un rotor de posición y un rotor de torque como se aprecia en la Figura 1.26.

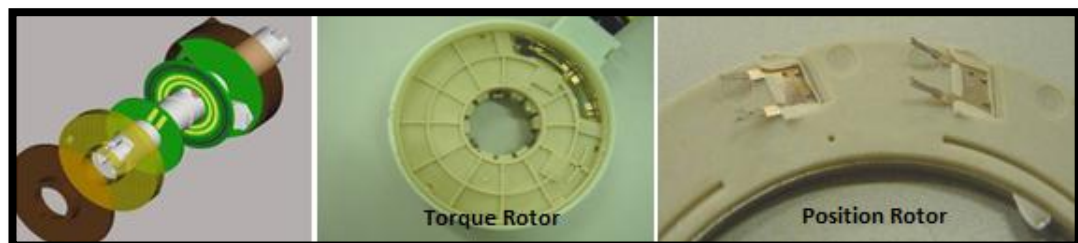


Figura 1.26. Posición de los rotores del sensor de torque Hyundai Accent MC
Fuente: MC MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

Al igual que el resto de sistemas este sensor entrega dos señales: una señal principal y una secundaria, ambas señales son iguales y opuestas como se ve en la Figura 1.27 y muestran el par de giro aplicado en el volante. Cuando el volante se encuentra en posición neutral indica que no existe torque aplicado y genera un voltaje de 2,5 V equivalente al 50% de la señal.

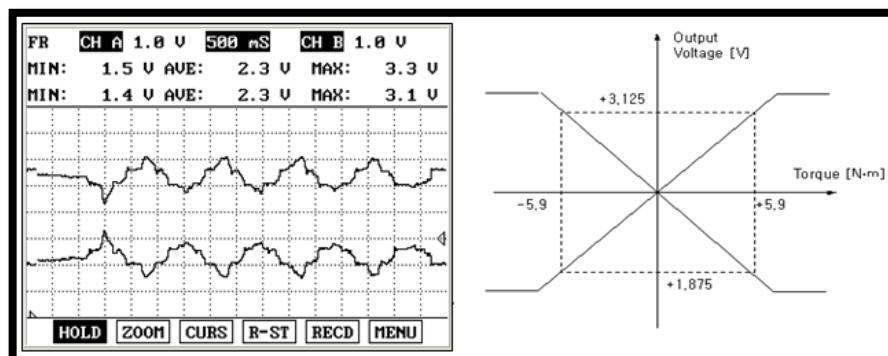


Figura 1.27. Señales de salida principal y secundaria del sensor de torque
Fuente: MC MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

El sensor entrega una señal de voltaje limitada por el rango de rotación del eje interno (barra de torsión) este es restringido por un tope. El número máximo de detección es de $\pm 8^\circ$ pero actualmente esta limitación es de $\pm 4,5^\circ$ la razón es su estructura mecánica.

La señal de torque es fundamental para el funcionamiento de la asistencia electrónica, e interviene directamente con la seguridad activa del vehículo, por lo tanto si este sensor falla, el motor eléctrico se apaga inmediatamente y la dirección funciona manualmente como una dirección netamente mecánica para asegurar la integridad de sus ocupantes.

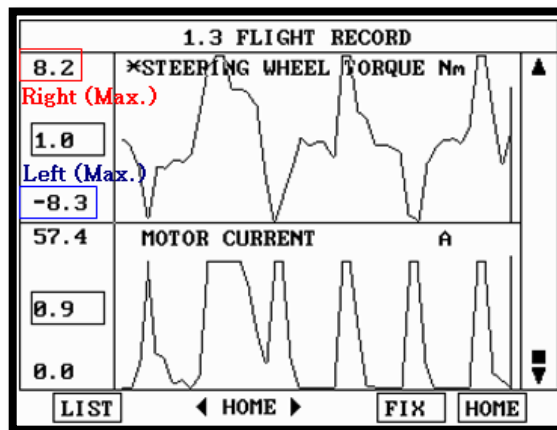


Figura 1.28. Torque vs Corriente del motor eléctrico

Fuente: MC MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

Tabla 1.1 Especificaciones técnicas del sensor de torque

Temperatura de operación	-40° to 85°C
Voltaje de alimentación	5V
Rango de resistencia	540KΩ
Histéresis	1% Vcc
Ángulo de detección	$\pm 8^\circ$
Consumo máximo de corriente	65 mA
Marca	Delphi-BI technology

Fuente: MC MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

b. SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO

Dependiendo de la velocidad del vehículo, la corriente del motor controlara el óptimo desempeño de la dirección. Cuando la velocidad del vehículo incrementa la corriente del motor disminuye a medida que el esfuerzo necesario para maniobrar el vehículo también disminuya.

El sensor de vehículo que se encuentra ubicado en el piñón de arrastre del velocímetro de la caja de cambios aplica el principio de efecto hall que emite impulsos digitales.¹⁷

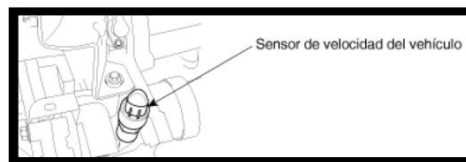


Figura 1.29. Ubicación del sensor de velocidad del vehículo Hyundai Accent MC
Fuente: Hyundai Motor Company, Manual de Taller tomo 2, 2006, Korea

El EPS CM detecta la velocidad del vehículo basada en la señal del impulso digital y controla la corriente del motor eléctrico. La señal de velocidad del vehículo no es un factor crítico para la seguridad en el sistema por lo tanto el motor de asistencia no se apagara aunque el sensor de velocidad falle, sin embargo la corriente decrecerá en el orden en que el esfuerzo de la dirección se incrementa.

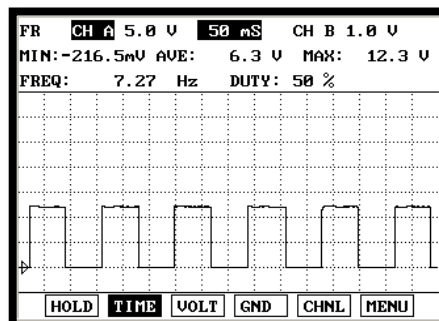


Figura 1.30. Señal del sensor de velocidad del vehículo
Fuente: EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

¹⁷ Hyundai Motor Company, Manual de Taller tomo 2, 2006,, Korea

Tabla 1.2 Especificaciones técnicas del sensor de velocidad del vehículo

Tipo	Hall
Frecuencia	70.7 Hz at 100 km/h
Duty	35 to 65 %
Vmax.	12.3 (V)
Vmin.	1.5 (V)
Rango de entrada	255 (km/h) o mas
Rango de detección	0 a 255 (km/h)
Resolución	1 (km/h)
Periodo de operación	200 (ms)

Fuente: MC MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

c.SENSOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR

El motor del vehículo inicia la operación del MDPS, la señal es transmitida por la PCM Electronic Control Module (Módulo de Control Electrónico) al sistema de asistencia.

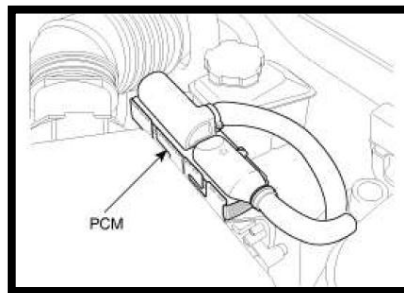


Figura 1.31. Ubicación del PCM Hyundai Accent MC

Fuente: Hyundai Motor Company, Manual de Taller tomo 2, 2006,,Korea

El módulo de control de la dirección confirma la intención del conductor al recibir la señal de rpm del motor del PCM mientras juzga el fallo del sensor de la velocidad del vehículo. Si el motor opera en ralentí o las rpm del motor disminuyen debido a una carga del alternador excesivamente alta, el motor se detiene o la batería se descarga. Para evitar esta situación cuando el motor eléctrico consume más de 25 A con el motor a ralentí el ESP CM conecta a

masa 12V, que se transmite desde la PCM (señal de ralentí). Si el motor consume menos de 20 A o la velocidad del vehículo es superior a 5 Km/h, el EPS CM desactiva la señal de ralentí.

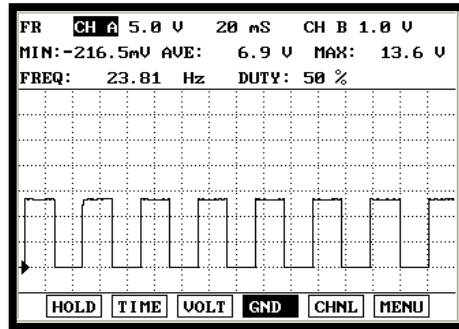


Figura 1.32. Señal de velocidad del motor

Fuente: EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

Tabla 1.3 Especificaciones técnicas del sensor de velocidad del motor

Tipo	Hall
Frecuencia	2 pulsos / 1 rotación del motor
Duty	40 a 60 %
V max.	13.6 (V)
V min.	1.0 (V)
Rango de entrada	8000 (r/min) or more
Rango de detección	160 to 5100 (r/min)
Resolución	20 (r/min)
Período de operación	200 (ms)

Fuente: MC MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

1.3.3. SEÑALES DE SALIDA

a. MOTOR ELÉCTRICO

Se utiliza un motor para generar la fuerza de asistencia de conducción en la columna de dirección del volante cuando este es girado por el conductor. El motor está instalado en el centro de la columna de la dirección. El motor puede dañarse durante el desmontaje o extracción, por esta razón deberá

desmontarse o extraerse la unidad completa si es necesario.

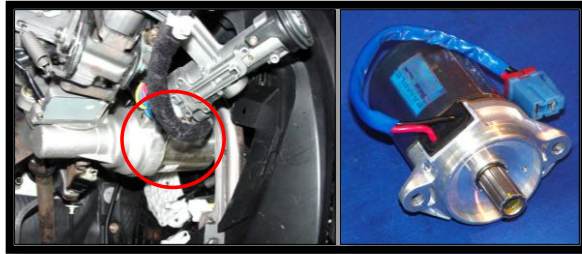


Figura 1.33. Motor Eléctrico Hyundai Accent MC
Fuente: EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

La velocidad de giro del motor no se controla por variación de voltaje sino por señal PWM (modulación de ancho de pulso) y el cambio de sentido de giro del motor se controla por un puente H de dos pares de transistores.

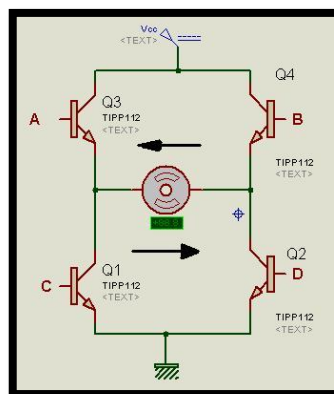


Figura 1.34. Control de giro de motor DC con puente H
Fuente: www.electromicrodigital.com

Tabla 1.4 Especificaciones del Motor Eléctrico

Corriente Max	65 A
Diámetro	76 mm
Longitud	125 mm
Peso	2.6 kg
Velocidad Max	2000 r/min
Torque	3.4 N.m
Velocidad	1.180 r/min
Alimentación	420 W

Fuente: EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

b. LÁMPARA DE TESTIGO DE AVERÍA

Esta lámpara se ilumina cuando existe avería en el sistema MDPS luego que la MDPS CM ha comprobado una avería en los ciclos de conducción programados. Puede darse el caso de que no se encienda la lámpara cuando la MDPS CM se ponga en OHP (Over Heat Protection Function), función en la que se desactiva la asistencia a la dirección para evitar un sobrecalentamiento



Figura 1.35. Lámpara de testigo de avería Hyundai Accent MC
Fuente: EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

1.3.4. MÓDULO DE CONTROL MDPS-CM

El módulo de control es el encargado de recibir las señales de los sensores de revolución del motor, de velocidad y del sensor de par, también comanda el motor eléctrico, este módulo de control posee un sistema de seguridad para proteger que el sistema no llegue a causas mayores ya que posee un termistor el cual apaga el sistema o desactiva la asistencia cuando la temperatura es menor que -20°C y superiores a 80°C .

Este módulo cuando el conductor está operando el vehículo mide el par operativo, El MDPS CM controla la corriente del motor eléctrico, esta corriente es en proporción de la velocidad del vehículo y el par operativo del volante además suministra o corta la corriente (según determina el relé de seguridad ante fallos de control de motor dentro del MDPS CM) a la fuente operativa del motor eléctrico y la fuente de suministro.



Figura 1.36. Módulo de control MDPS-CM

Fuente: MC MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

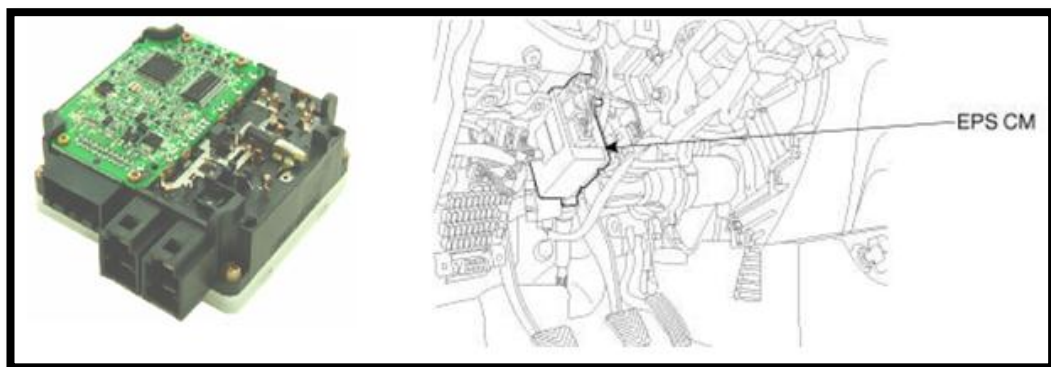


Figura 1.37. Módulo interno de control y ubicación

Fuente: MC MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

1.3.5. DIAGRAMA DE BLOQUES Y CONECTORES DEL SISTEMA MDPS

El diagrama de bloques y conectores muestra todas las señales de entrada que ingresan por el conector A (Figura 1.38) estas señales pueden ser: regulación de voltaje, señal principal y auxiliar del sensor de torque, alimentación y masa del sensor de torque, señal de velocidad del vehículo, señal de velocidad del motor, luz de testigo de funcionamiento y línea de diagnóstico o comunicación.

En base a todas estas señales el microprocesador calcula la salida de corriente del motor eléctrico de asistencia y el control de corriente de retroalimentación (feedback) se encarga de comprobar la corriente con la que se alimenta al motor para finalmente enviarla por medio del conector B al motor eléctrico.

Una vez enviada la corriente al motor esta puede variar según la velocidad de circulación del vehículo, para velocidades bajas de circulación se obtiene la mayor corriente que va hacia el motor por lo tanto existe la mayor asistencia y en el caso de velocidades altas vamos a tener menor asistencia, esto nos permite tener un control, estabilidad y una mayor seguridad a la conducción.

Además en el conector B llega señal de positivo y negativo de batería.

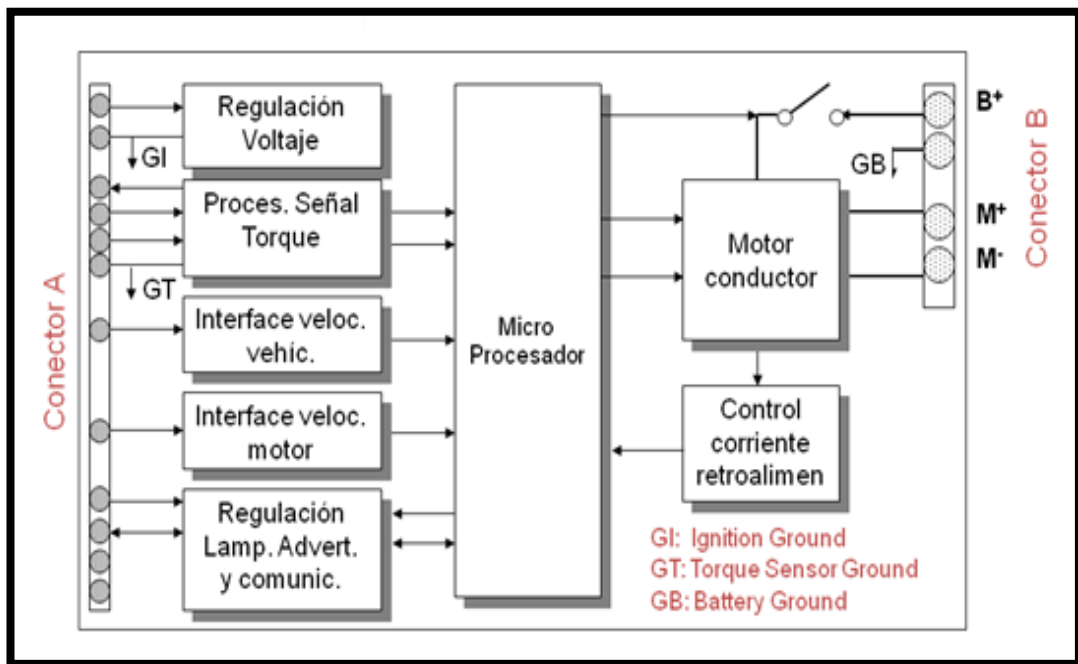


Figura 1.38. Diagrama de bloques y conectores del sistema MDPS
 Fuente: EPS & MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

1.3.6. DIAGRAMA DE BLOQUES Y PINES DEL SISTEMA MDPS

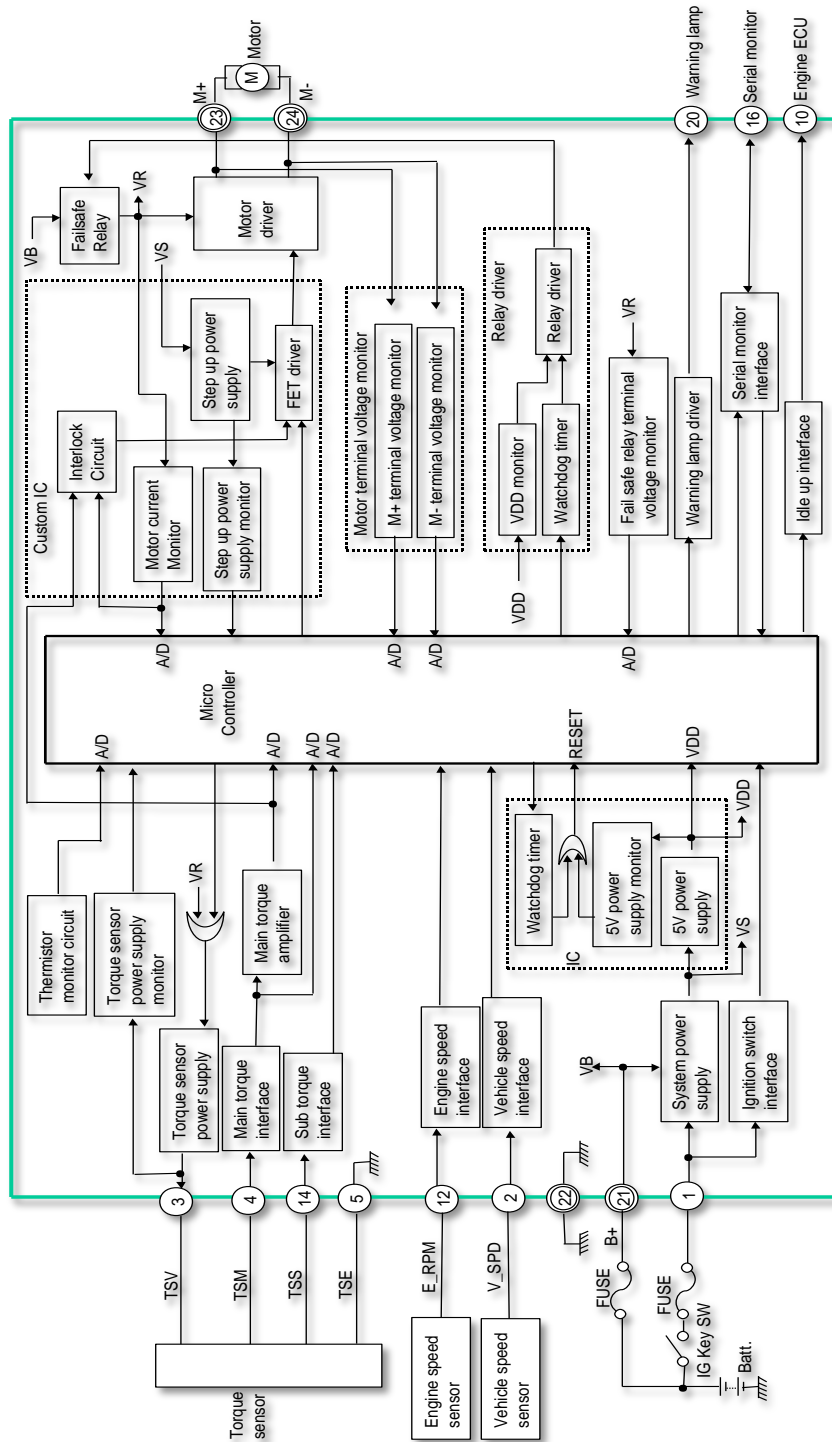


Figura 1.39. Diagrama de bloques y pines del sistema MDPS
 Fuente: MC MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

En el diagrama podemos observar de una manera más detallada la constitución interna del módulo MDPS CM así como la numeración de cada uno de sus pines.

Se puede observar que la señal principal y auxiliar del sensor de torque llega directamente al microprocesador, pero también llega una tercera señal principal amplificada por medio de un amplificador, la alimentación de voltaje del sensor de torque es proveniente del microprocesador.

La señal de velocidad del motor y señal de velocidad del vehículo llegan al microprocesador por medio de una interfaz para cada señal.

El módulo tiene alimentación permanente de batería ya que se puede ver en la figura que la alimentación llega por medio de un fusible a una fuente de voltaje, y de esta al microprocesador. El microprocesador también necesita de una señal de encendido la cual es proporcionada por el switch de encendido en la posición IGN que pasa por otro fusible.

La señal amplificada del sensor de torque también es utilizada por un circuito integrado (custom IC) el cual conjuntamente con otras señales del microprocesador y un voltaje de alimentación envía una sola señal al controlador del motor (Motor Driver).

Las señales del controlador del motor también son usadas por un feedback (Motor terminal voltaje monitor) el cual sirve como un retro alimentador o monitoreo de la corriente que el controlador del motor envía al motor eléctrico.

En el interior de la MDPS CM existe un termistor el cual censa la temperatura del sistema para que cuando la temperatura sea menor de -20°C o superior a 80°C , se active una función protectora contra el sobrecalentamiento (OHP) con la cual se suprime la asistencia de la dirección con la activación de un relé de seguridad.

Este relé de seguridad sirve para cortar la alimentación de batería tanto al controlador del motor (Motor Driver) como al microprocesador. El relé de seguridad es activado por medio de un controlador de relé (Relay Driver) que a su

vez es controlado por el microprocesador. Esta acción de seguridad se da cuando se gira totalmente la dirección ya sea a la izquierda o a la derecha por más de 30 segundos o cuando se gira la dirección totalmente de un extremo al otro más de 12 veces repetidamente con el vehículo en ralentí ya que en esta condición el motor eléctrico y la EPS CM pueden sufrir averías.

Al producirse esta acción de seguridad (OHP- Over Heat Protection Function) la asistencia a la dirección queda inhabilitada hasta que la temperatura del motor eléctrico vuelva a las condiciones normales.

1.3.7. DIAGRAMA DE TERMINALES DE PINES Y NOMENCLATURA DEL MDPS

En la Figura 1.40 se muestra el diagrama de terminales de pines de cada uno de los conectores del sistema MDPS del vehículo Hyundai Accent MC, así como su organización, numeración y nomenclatura.

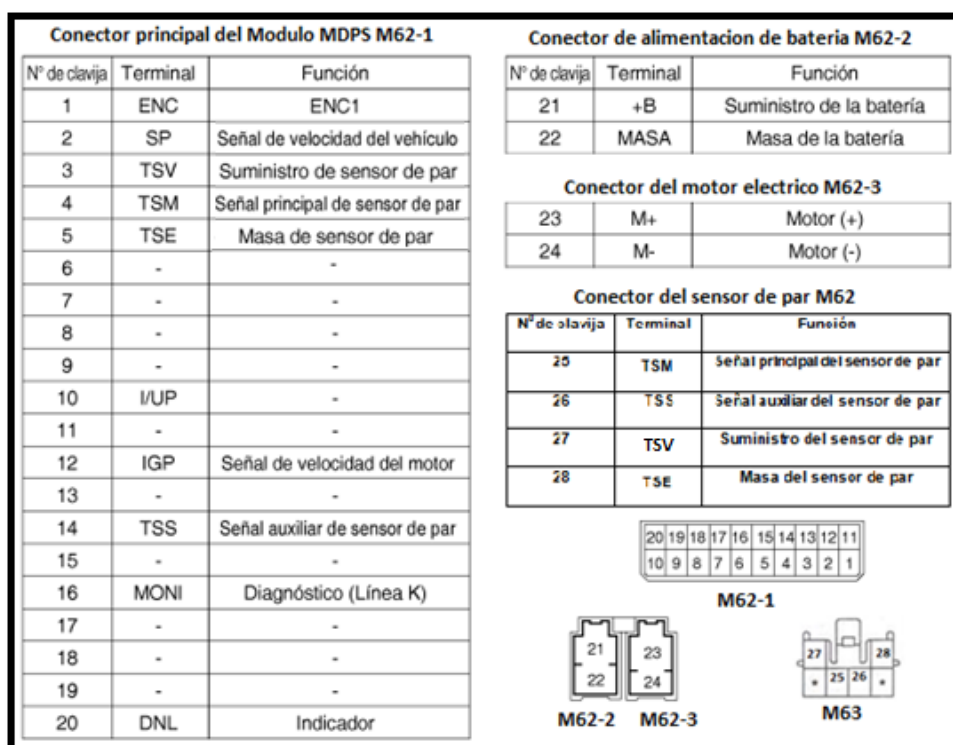


Figura 1.40. Diagramas de terminales de pines y nomenclatura del MDPS
Fuente: MC MDPS, Hyundai Chonan Technical Service Training Center

CAPÍTULO II

DESPIECE DE UNA COLUMNA DE DIRECCIÓN MC_MDP SHYUNDAI NEW-ACCENT-MC

Para comprender de mejor manera el funcionamiento del sistema MC MDPS del vehículo Hyundai Accent MC se procedió a desarmar la columna de dirección para así observar sus partes internas y determinar la razón de su diseño.

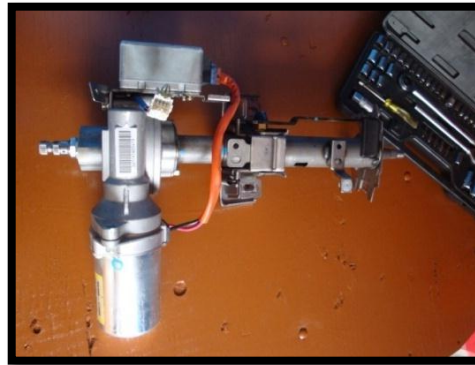


Figura 2.1. Columna de dirección MDPS-CM
Fuente: Los Autores

2.1. MÓDULO

Para desmontar el módulo MDPS CM se retiró el conector que viene desde el motor eléctrico y dos pernos que sujetan su base con la columna

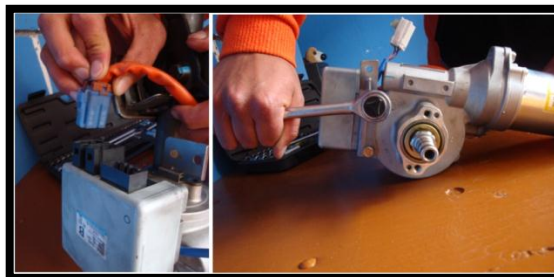


Figura 2.2. Desmontaje del Módulo
Fuente: Los Autores

Una vez desmontado el módulo de la columna, se quitó la tapa metálica que recubre las tarjetas electrónicas donde se observó que consta de un sin número de resistencias así como de una memoria



Figura 2.3. Desmontaje de la tapa metálica del módulo

Fuente: Los Autores

2.2. MOTOR ELÉCTRICO

Para el desmontaje del motor eléctrico se sacó los dos pernos que lo sujetan a la carcasa del tornillo sin fin.



Figura 2.4. Desmontaje del motor eléctrico

Fuente: Los Autores

Una vez desmontado el motor eléctrico se observa que tiene un acoplador hembra y que a su alrededor hay un caucho que sirve de amortiguación para ruidos de las vibraciones. En la carcasa del tornillo sin fin se ve el eje de engrane que ingresa en el acoplador.



Figura 2.5. Acoplador del motor eléctrico

Fuente: Los Autores

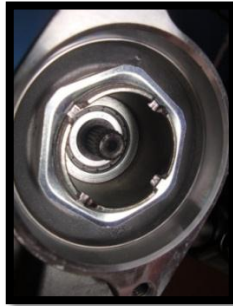


Figura 2.6. Eje del tornillo sin fin
Fuente: Los Autores

En el concesionario de la marca se han presentado quejas de clientes de un ruido de traqueteo en la dirección. La causa de este ruido es que el acoplador del motor eléctrico se encontraba sin grasa o con insuficiente grasa, por lo cual se creó un boletín de servicio para que los técnicos procedan a engrasar esta parte desmontando el motor eléctrico de la columna.

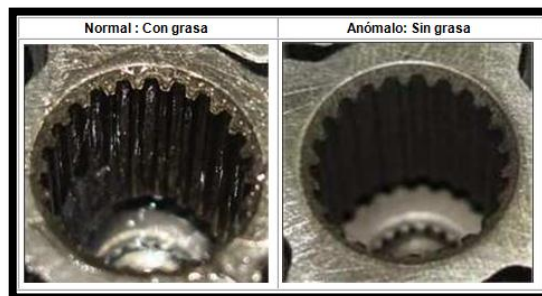


Figura 2.7. Acoplador con grasa y sin grasa
Fuente: Boletines de servicio Hyundai TSB No. HFS09-61-P090-MC;B12AB

Se retiró la carcasa del motor sacando dos tornillos para observar su constitución interna la cual consta de cuatro escobillas, dos positivas y dos negativas, el estator y el bobinado del rotor.

Las escobillas son hechas de un material diferente al utilizado comúnmente en las escobillas de un motor de arranque, para evitar un desgaste excesivo y para que tenga una duración superior con lo cual no se requiera mantenimiento o recambio de las mismas.

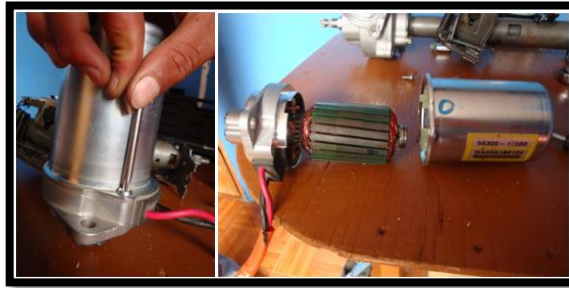


Figura 2.8. Desmontaje de la carcasa del motor
Fuente: Los Autores

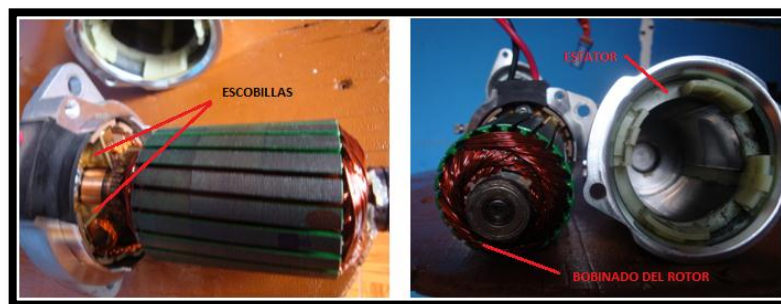


Figura 2.9. Partes internas del motor eléctrico
Fuente: Los Autores

2.3. COLUMNA DE DIRECCIÓN

Para desmontar la columna se sacó los tres pernos que la mantienen unida a la carcasa del sensor de par y se observó la barra de torsión unida al sensor. Lo que le permite a esta barra torsionarse es que tiene dos segmentos de un material flexible.



Figura 2.10. Desmontaje de la columna de dirección
Fuente: Los Autores

La barra de torsión esta acoplada directamente con el eje de la columna donde engrana el volante



Figura 2.11. Eje interno de la columna de dirección
Fuente: Los Autores

2.4. SENSOR DE PAR

Para observar el sensor de par se sacó los tres pernos de la tapa superior, la cual consta de un rodamiento.



Figura 2.12. Desmontaje de la tapa de la carcasa del sensor de par}
Fuente: Los Autores

Para poder extraer todo el conjunto del sensor de par se sacó dos tuercas que van en el extremo inferior del eje.



Figura 2.13. Desmontaje del sensor de par
Fuente: Los Autores

La barra de torsión se encuentra en el interior del sensor de par y para su extracción se tuvo que sacar un pasador que lleva en la punta del eje



Figura 2.14. Desmontaje de la barra de torsión
Fuente: Los Autores

El sensor de par y la corona dentada se encuentran unidos a presión a la barra de torsión y para su desmontaje se tuvo que retirar unos seguros.



Figura 2.15. Sensor de par y corona dentada
Fuente: Los Autores

Se retiró la tapa superior del sensor de par, un protector plástico y el rotor donde se encuentran los dos contactos de las señales del sensor.

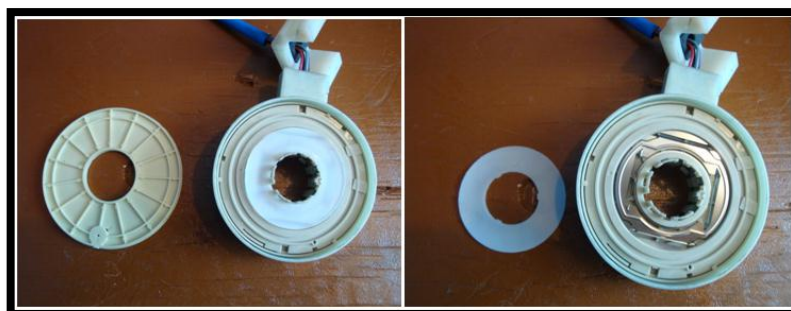


Figura 2.16. Desmontaje de la tapa y rodela del sensor de par
Fuente: Los Autores



Figura 2.17. Desmontaje del rotor superior
Fuente: Los Autores

En la Figura 2.18 se puede observar de mejor manera los contactos del rotor superior así como el rotor inferior donde se encuentra la pista a donde finalmente llegan las señales de alimentación del sensor, masa, y las señales principal y auxiliar del sensor. El rotor superior donde se encuentran los contactos tiene un giro limitado de aproximadamente 8° .

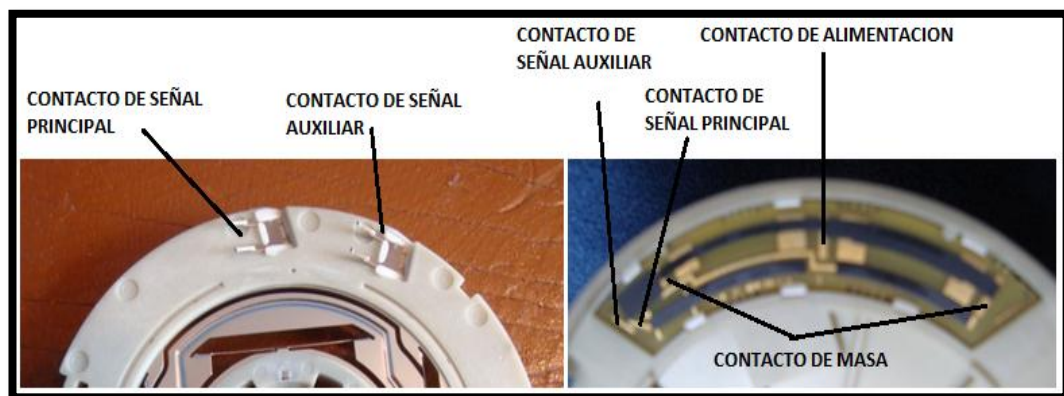


Figura 2.18. Rotor superior e inferior del sensor de par
Fuente: Los Autores

Al sacar el rotor inferior se puede observar por su parte inferior un par de contactos de cuatro terminales, los cuales hacen contacto directo con la pista estacionaria que recibe las señales de los cables que ingresan al sensor. El rotor inferior gira libremente el grado de asistencia que proporciona el motor eléctrico ya que este rotor va conectado al eje de la salida de movimiento a la cremallera.



Figura 2.19. Desmontaje del rotor inferior del sensor de par
Fuente: Los Autores

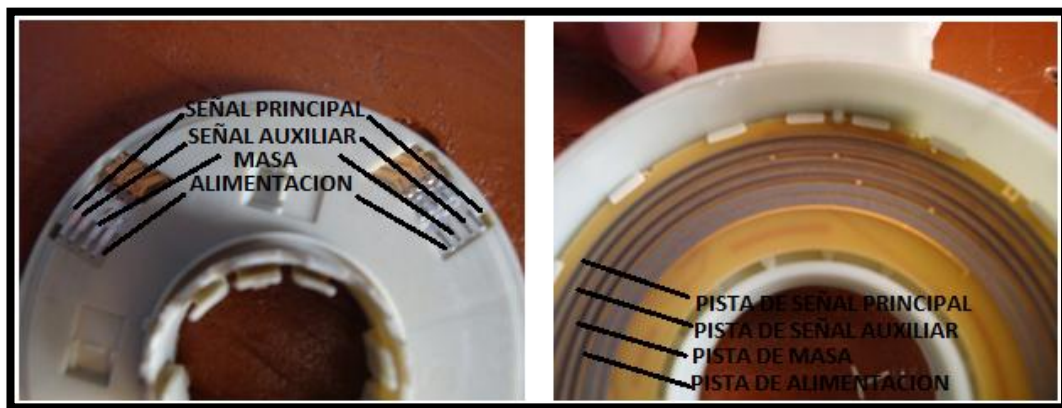


Figura 2.20. Esquema de señales del sensor de par
Fuente: Los Autores

En la Figura 2.21 se ve el despiece total del sensor de par

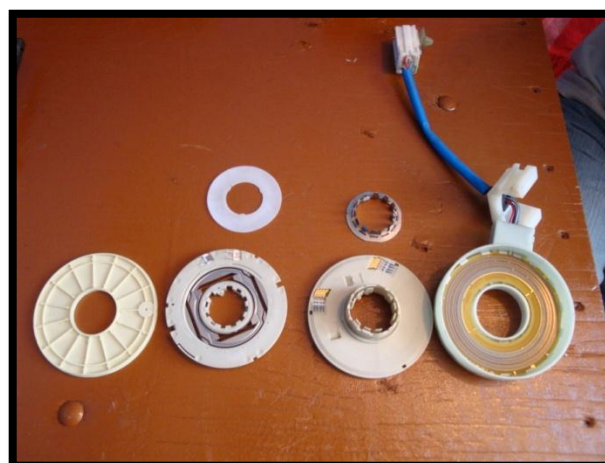


Figura 2.21. Despiece del sensor de par
Fuente: Los Autores

El tornillo sin fin se lo puede visualizar en la carcasa del sensor de par.



Figura 2.22. Tornillo sin fin
Fuente: Los Autores

2.5. ANÁLISIS DE LOS INCONVENIENTES QUE PRESENTÓ EL SISTEMA MDPS EN BASE AL DESPIECE DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN

El sistema MDPS del vehículo Hyundai Accent MC del modelo 2006 al 2008 tuvo muchos inconvenientes que por lo general se presentaban a partir de los 50000 km y por efectos de garantía, el concesionario se veía obligado a cambiar la columna de dirección después de determinar su causa.

En algunos casos era necesario el recambio de la columna de dirección y en otros no, a continuación se identifican ambos casos.

2.5.1. CASOS DONDE NO SE REQUIERE RECAMBIO DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN

Hubo quejas de clientes de que se les endurecía la dirección específicamente al estacionarse. Por lo cual tenían que apagar el vehículo y volverlo a encender para recuperar la asistencia a la dirección.

Esta falla es debida a la programación que hizo el fabricante de suprimir la asistencia en caso de recalentamiento del motor eléctrico, ya que el módulo consta de un termistor que censa la temperatura del sistema. Este recalentamiento se da al estacionarse ya que es en ese momento cuando el conductor gira el volante de extremo a extremo varias veces y al hacer esto por más de doce veces seguidas o por tener el volante girado

totalmente hacia un extremo durante mucho tiempo (más de 30 segundos) el motor eléctrico se recalienta y es por eso que después de apagar el vehículo y volverlo a prender se recupera la asistencia una vez que se haya enfriado el motor eléctrico.

En este caso se le explicaba al cliente que el sistema tenía esta función de protección en caso de recalentamiento y que no era necesario cambiar la columna de dirección.

Puede existir la queja de un ruido o traqueteo en la columna al girar la dirección, la causa era que el acoplador del motor eléctrico que engrana con el eje del tornillo sin fin se encontraba sin grasa o con falta de grasa, por lo cual solo era necesario desmontar el motor eléctrico y engrasar el acoplador.

2.5.2. CASOS DONDE SE REQUIERE EL RECAMBIO DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN

También puede existir ruido o traqueteo en la columna cuando hay una holgura excesiva entre la corona dentada y el tornillo sin fin y al no poder exceder a esta parte era necesario el recambio de la columna de dirección.

Otra queja que presentaban algunos clientes era que mientras conducían en carretera la dirección se tornaba dura por momentos o que solo se hacía dura al girar hacia un lado específico ya sea hacia la izquierda o derecha. Este problema era debido al desgaste de los contactos y las pistas del sensor de par diseñado del tipo potenciómetro, que al circular por caminos irregulares la fricción entre contactos era mayor y por ende había un excesivo desgaste que hacía que se emita una lectura errónea del sensor o que exista una variación fuera de rango entre la señal auxiliar y principal del sensor, por lo cual era necesario el recambio de la columna de dirección.

CAPÍTULO III

DISEÑO ELECTRÓNICO DEL BANCO DIDÁCTICO

3.1. DIAGRAMA GENERAL DE DISEÑO DE SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA DEL BANCO DIDÁCTICO DE DIRECCIÓN ELECTROMEQUÍMICA

En el diagrama de la Figura 3.1 se observa de una manera general el diseño electrónico del banco didáctico.

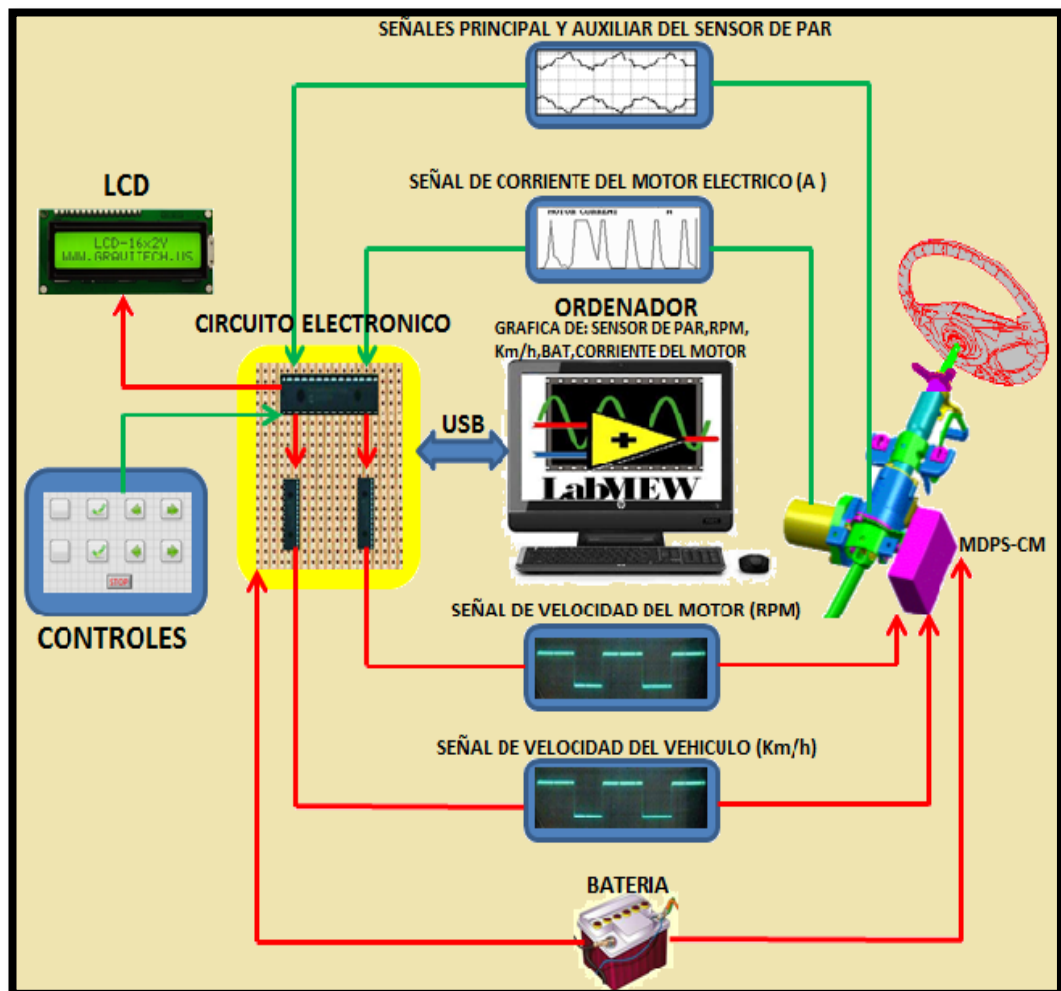


Figura 3.1. Diagrama general de diseño de señales de entrada y salida del banco didáctico de dirección electromecánica

Fuente: Los Autores

El diseño electrónico del banco didáctico permite:

- Simular las señales necesarias para que el sistema funcione como lo hace en el vehículo (señales de: velocidad del motor y velocidad del vehículo).
- Visualizar en un ordenador los datos (voltaje de batería, torque aplicado en el volante), gráficas de señales de sensores (señal principal y auxiliar del sensor de par, de velocidad del vehículo y de velocidad del motor) y actuadores (consumo de corriente del motor eléctrico).
- Controlar la variación de las señales de velocidad del vehículo y de revoluciones del motor, la desconexión de las señales antes mencionadas y de la señal principal y auxiliar del sensor de par. Todo esto por medio de un tablero de control manual y/o desde un ordenador con ayuda del programa LabVIEW

3.2. SIMULACIÓN DE SEÑALES

Para el correcto funcionamiento del sistema MDPS de Hyundai es necesario que el módulo reciba las señales de los siguientes sensores: sensor de velocidad del vehículo, sensor de velocidad del motor, sensor de par. La señal de velocidad del vehículo es enviada al MDPS-CM directamente del sensor ubicado en la caja de velocidades. La señal de velocidad del motor es enviada al MDPS-CM por medio del ECM la cual recibe directamente la señal del sensor ubicado en el volante de inercia del motor. La señal del sensor de par es enviada al MDPS-CM directamente del sensor ubicado en la columna de dirección.

El sensor de par al estar ubicado en la columna de dirección no requiere de la simulación de esta señal, por lo que solo se procederá a simular las señales de velocidad del vehículo y velocidad del motor que provienen de sensores externos a la columna de dirección.

3.2.1. TOMA DE DATOS EN EL VEHÍCULO HYUNDAI ACCENT Y TABULACIÓN

Como se dijo anteriormente se necesita simular las señales del sensor de velocidad del vehículo y velocidad del motor para el correcto funcionamiento del banco didáctico, por lo que se requiere tomar los datos de estas señales en diferentes condiciones de manejo del vehículo Hyundai Accent con la ayuda de un osciloscopio.

La señal de velocidad del vehículo la puede tomar del pin 2 del socket M62-1 como se indica en la Figura 3.2



Figura 3.2. Toma de señal de velocidad del vehículo
Fuente: Los Autores

La señal obtenida es una onda cuadrada con una amplitud de 0 a 12V, con un ciclo de trabajo del 50% que varía su frecuencia dependiendo de la velocidad de marcha del vehículo.

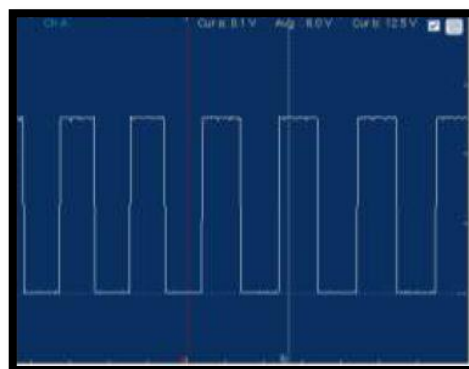


Figura 3.3 Señal de velocidad del vehículo
Fuente: Los Autores

Se obtuvieron mediciones a diferentes rangos de velocidad y se elaboró la Tabla 3.1 la cual permite partir de la variación de frecuencia para la simulación de esta señal.

Tabla 3.1 Velocidad del vehículo VS Frecuencia

VELOCIDAD (Km/h)	FRECUENCIA (Hz)
0	0
10	6,41
20	12,88
30	19,23
40	26,04
60	39,06
80	52,08
100	65,78
120	78,12
140	96,15
160	104,16
180	113,63
200	138,88

Fuente: Los Autores

La señal de velocidad del motor se la puede tomar del pin 12 del socket M62-1 como se muestra en la Figura 3.4.

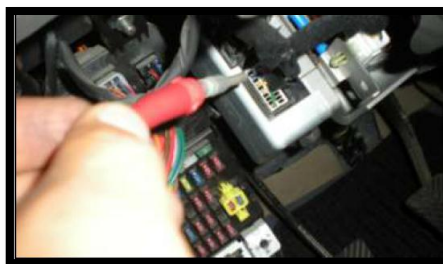


Figura 3.4. Toma de señal de velocidad del vehículo

Fuente: Los Autores

La señal obtenida es una onda cuadrada con una amplitud de 0 a 12 V, con un ciclo de trabajo del 50% que varía su frecuencia dependiendo de las revoluciones del motor.

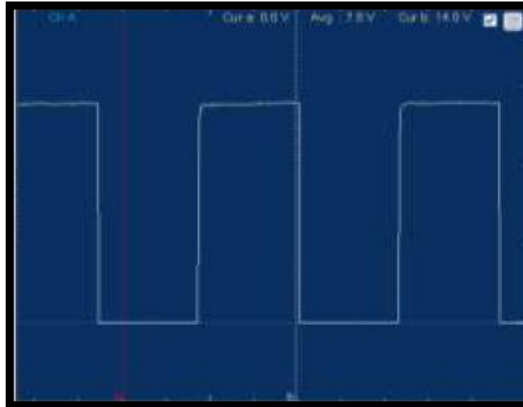


Figura 3.5 Señal de velocidad del motor
Fuente: Los Autores

Se obtuvieron mediciones a diferentes rangos de revoluciones y se elaboró la Tabla 3.2 la cual permite partir de la variación de frecuencia para la simulación de esta señal.

Tabla 3.2 Velocidad del vehículo VS Frecuencia

RPM	FRECUENCIA (Hz)
0	0
200	9,80
600	10,20
700	11,90
1000	17,00
1500	25,51
2000	34,24
2500	42,37
3000	51,02
3500	59,52
4000	67,56
5000	86,20
6000	104,16
7000	119,04

Fuente: Los Autores

3.2.2 TARJETA ELECTRÓNICA PARA SIMULACIÓN DE SEÑALES

Para la simulación de señales de velocidad del vehículo y velocidad del motor se utilizó un PIC 16F877A el cual se encarga de recibir las señales de los pulsadores de ON/OFF y de los pulsadores de aumento y disminución de las frecuencias.

El PIC16F877A según el pulsador que se active realiza un programa para que este PIC transmita las señales de los pulsadores a los PIC's 16F628A que son independientes para cada señal los cuales se encargan de generar las ondas cuadradas, de acuerdo a unas tablas de periodos almacenadas en estos PIC's obtenidas de las frecuencias.

La razón por la que se transmite las señales de los pulsadores del PIC16F877A a los dos PIC's 16F628A para que estos se encarguen de generar las ondas, es que si se generan las dos ondas en un mismo PIC, habrá un desfase de ondas debido a que se manejan frecuencias muy bajas que traducidas a tiempo o periodo son muy grandes, que al simular las dos a la vez, los periodos de la una onda se suman a la otra, es decir que mientras la una onda ya se crea, la otra espera ese periodo para crearse, por lo que ya no van a tener un ciclo de trabajo del 50% ni van a ser de la frecuencia que se requiere.

Una vez simuladas las ondas cuadradas y pudiendo tener control de su variación ya se las puede introducir al módulo de la dirección electromecánica MDPS CM.

3.2.3. SEÑAL DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO (KM/H)

Para simular la señal de velocidad del vehículo se realizó el circuito de la Figura 3.5, el cual consta de tres pulsadores con sus respectivas resistencias (R4-R5-R6), el PIC 16F877A (U1), el PIC 16F628A (U2), una resistencia de 10k (R7) en la alimentación del PIC 16F877A, un cristal (X1) de 20 MHz y un osciloscopio en el que se podrá visualizar la señal.

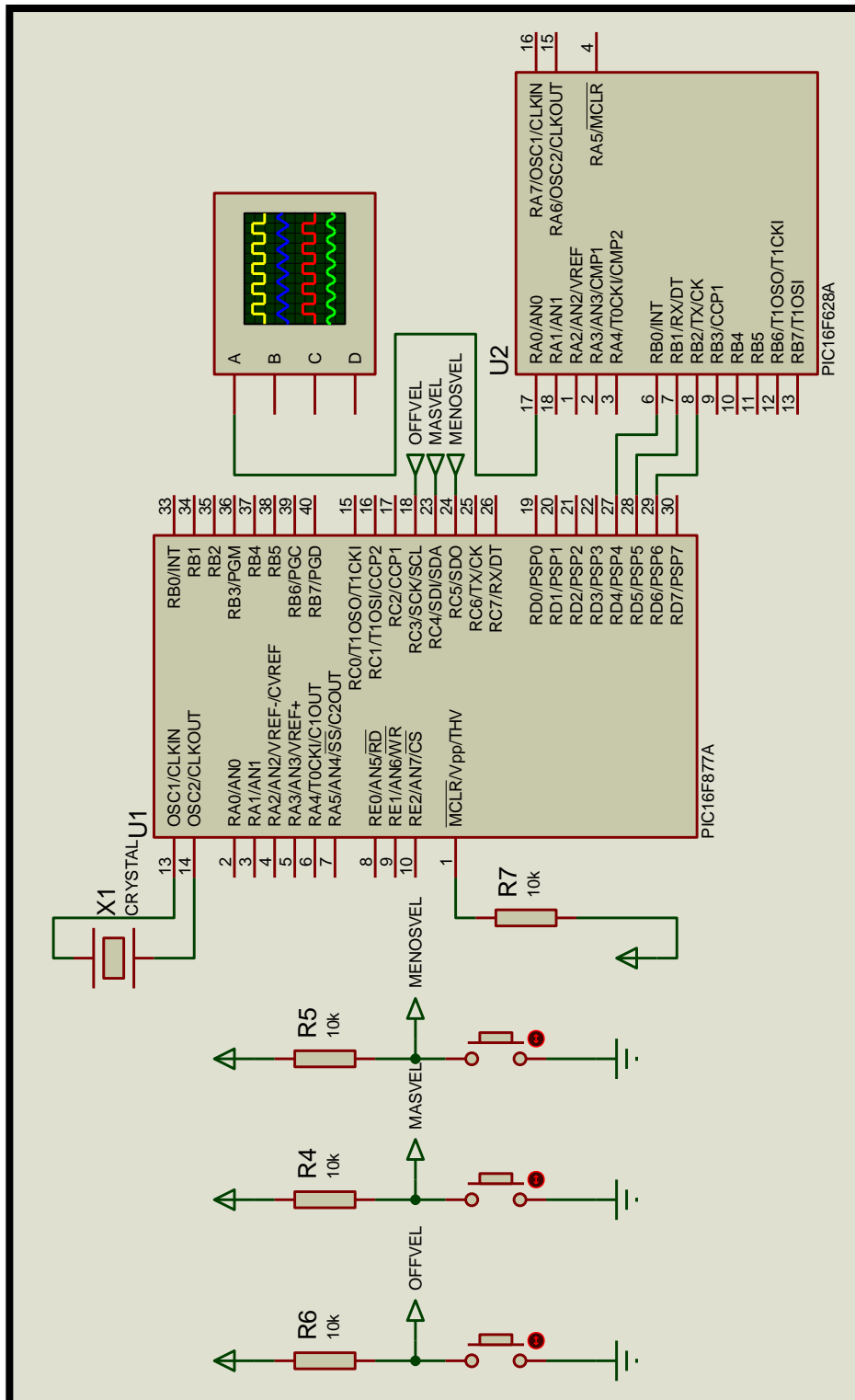


Figura 3.6 Circuito de señal de velocidad del vehículo
Fuente: Los Autores (ISIS PROTEUS 7.8)

a. PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F877A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO

En la programación realizada en el PIC 16F877A se comenzó definiendo la frecuencia del cristal externo de 4 MHz ya que este PIC no cuenta con oscilador interno el cual sirve para dar la velocidad de procesamiento y sincronizar las instrucciones que se están ejecutando.

Como entradas del PIC se colocó tres pulsadores los cuales van a servir para encender, aumentar y disminuir la frecuencia de la onda cuadrada de velocidad, cada pulsador tendrá una señal de salida respectivamente las cuales empezaran en alto (1 lógico), cuando los pulsadores sean activados se pondrán en 0 lógico durante 50 milisegundos y nuevamente se pondrán en 1 lógico, con lo cual se le indica al PIC 16F628A que los pulsadores han sido activados

Con la ayuda de una variable X que sirve de bandera no se podrá activar los pulsadores de aumentar y disminuir si no se activado primero el pulsador de encender.

Un contador con la variable (j) indica el número de veces que se presiona el pulsador.

Las líneas de programación se ven en el Anexo A.

b. PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F628A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO

En el PIC 16F628A se definió la frecuencia del oscilador en 4MHz ya que este PIC consta de oscilador interno y no es necesario un cristal externo, las señales de entradas del PIC 16F628A vienen hacer las que anteriormente fueron las salidas del PIC 16F877A, que indican la activación de los pulsadores de encendido, aumento o disminución.

Como única salida del PIC 16F628A se tiene la señal de la onda cuadrada generada tan solo con programarla en alto (1 lógico) y bajo (0 lógico) durante el tiempo de la variable TIEMPO2, la cual va tomando los valores de Tabla 2s del Anexo A. Se ocupa cuatro pausas del TIEMPO2 para obtener la frecuencia deseada como se calculó en la Tabla 3.3.

Las líneas de programación se ven en el Anexo B.

Tabla 3.3 Cálculo de frecuencia de velocidad a periodo en (us)

VELOCIDAD (Km/h)	FRECUENCIA (Hz)	Periodo (ms)	Periodo en Alto o en Bajo	Periodo en Alto o Bajo / 4	Periodo (us)
0	0	0	0	0	0
10	6,410	0,156	0,078	0,0195	195
20	12,88	0,0776	0,0388	0,0097	97
30	19,23	0,052	0,026	0,0065	65
40	26,04	0,0384	0,0192	0,0048	48
60	39,06	0,0256	0,0128	0,0032	32
80	52,08	0,0192	0,0096	0,0024	24
100	65,78	0,0152	0,0076	0,0019	19
120	78,12	0,0128	0,0064	0,0016	16
140	96,15	0,0104	0,0052	0,0013	13
160	104,16	0,0096	0,0048	0,0012	12
180	113,63	0,0088	0,0044	0,0011	11
200	138,88	0,0072	0,0036	0,0009	9

Fuente: Los Autores

3.2.4. SEÑAL DE VELOCIDAD DEL MOTOR (RPM)

Para simular la señal de velocidad del vehículo se realizó el circuito de la Figura 3.5, el cual consta de tres pulsadores con sus respectivas resistencias (R1-R2-R3), el PIC 16F877A (U1), el PIC 16F628A (U3), una resistencia de 10k (R7) en la alimentación del PIC 16F877A, un crista (X1) de 20 MHz y un osciloscopio en el que se podrá visualizar la señal.

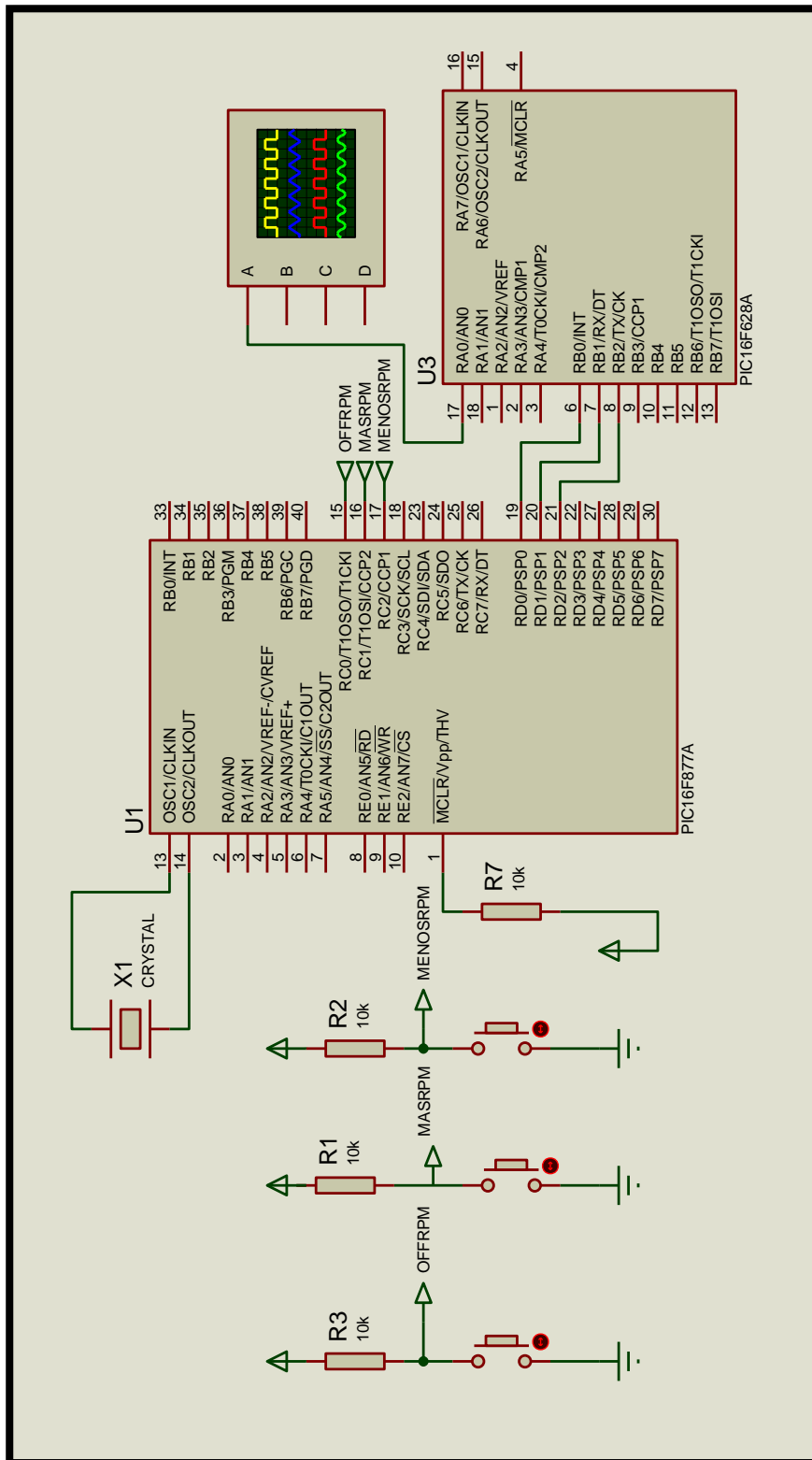


Figura 3.7. Circuito de señal de velocidad del motor
Fuente: Los Autores (ISIS PROTEUS 7.8)

a. PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F877A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL MOTOR

En la programación realizada en el PIC 16F877A se comenzó definiendo la frecuencia del cristal externo de 20MHz ya que el PIC16F877A no cuenta con oscilador interno.

Como entradas del PIC se colocó tres pulsadores los cuales van a servir para encender, aumentar y disminuir la frecuencia de la onda cuadrada de RPM, cada pulsador tendrá una señal de salida respectivamente las cuales empezaran en alto (1 lógico), cuando los pulsadores sean activados se pondrán en 0 lógico durante 50 Mili segundos y nuevamente se pondrá en 1 lógico, con lo cual le indicara al PIC 16F628A que los pulsadores han sido activados, con la ayuda de una variable (Y) que sirve de bandera no se podrá activar los pulsadores de aumentar y disminuir si no se activado primero el pulsador de encender.

Un contador con la variable (k) indica el número de veces que se presiona el pulsador.

Las líneas de programación se ven en el Anexo A.

b. PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F628A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL MOTOR

En el PIC 16F628A se definió la frecuencia del oscilador en 4MHz ya que este PIC consta de oscilador interno y no es necesario un cristal externo, las señales de entradas del PIC 16F628A vienen hacer las que anteriormente fueron las salidas del PIC 16F877A, que indican la activación de los pulsadores de encendido, aumento o disminución.

Como única salida del PIC 16F628A se tiene la señal de la onda cuadrada generada tan solo con programarla en alto (1 lógico) y bajo (0 lógico) durante el tiempo de la variable TIEMPO1, la cual va tomando los valores

de Tabla1s del Anexo A y multiplicándolos por cien debido a que el valor dato1 de la tabla solo tiene un tamaño de 256 BITS por lo que el máximo valor requerido de 23000 no alcanzaría como se calculó en la Tabla 3.4.

Las líneas de programación se ven en el Anexo C.

Tabla 3.4. Cálculo de frecuencia de rpm a periodo en (us)

RPM	FRECUENCIA (Hz)	Periodo (ms)	Periodo en Alto o en Bajo	Periodo en Alto o Bajo / 2	Periodo (us)
0	0	0	0	0	0
200	9,80	0,102	0,51	0,0255	255
600	10,20	0,098	0,049	0,0245	245
700	11,90	0,084	0,042	0,021	210
1000	17,00	0,0588	0,0294	0,0147	147
1500	25,51	0,0392	0,0196	0,0098	98
2000	34,24	0,0292	0,0146	0,0073	73
2500	42,37	0,0236	0,0118	0,0059	59
3000	51,02	0,0196	0,0098	0,0049	49
3500	59,52	0,0168	0,0084	0,0042	42
4000	67,56	0,0148	0,0074	0,0037	37
5000	86,20	0,0116	0,0058	0,0029	29
6000	104,16	0,0096	0,0048	0,0024	24
7000	119,04	0,0084	0,0042	0,0021	21

Fuente: Los Autores

3.3. CONTROL Y RECOLECCIÓN DE SEÑALES DEL SISTEMA MDPS

En la Figura 3.7 se muestra en totalidad el circuito de control y recolección de señales del sistema MDPS el cual consta de pulsadores con sus respectivas resistencias para la activación de y la opción de aumentar y disminuir las señales de velocidad del motor y del vehículo, relés que servirán para la desconexión de la señal principal y auxiliar del sensor de par así como para resetear el sistema, un LCD de 16x2 y un conector RS232 para la comunicación con un ordenador.

Las líneas de programación se ven en el Anexo A

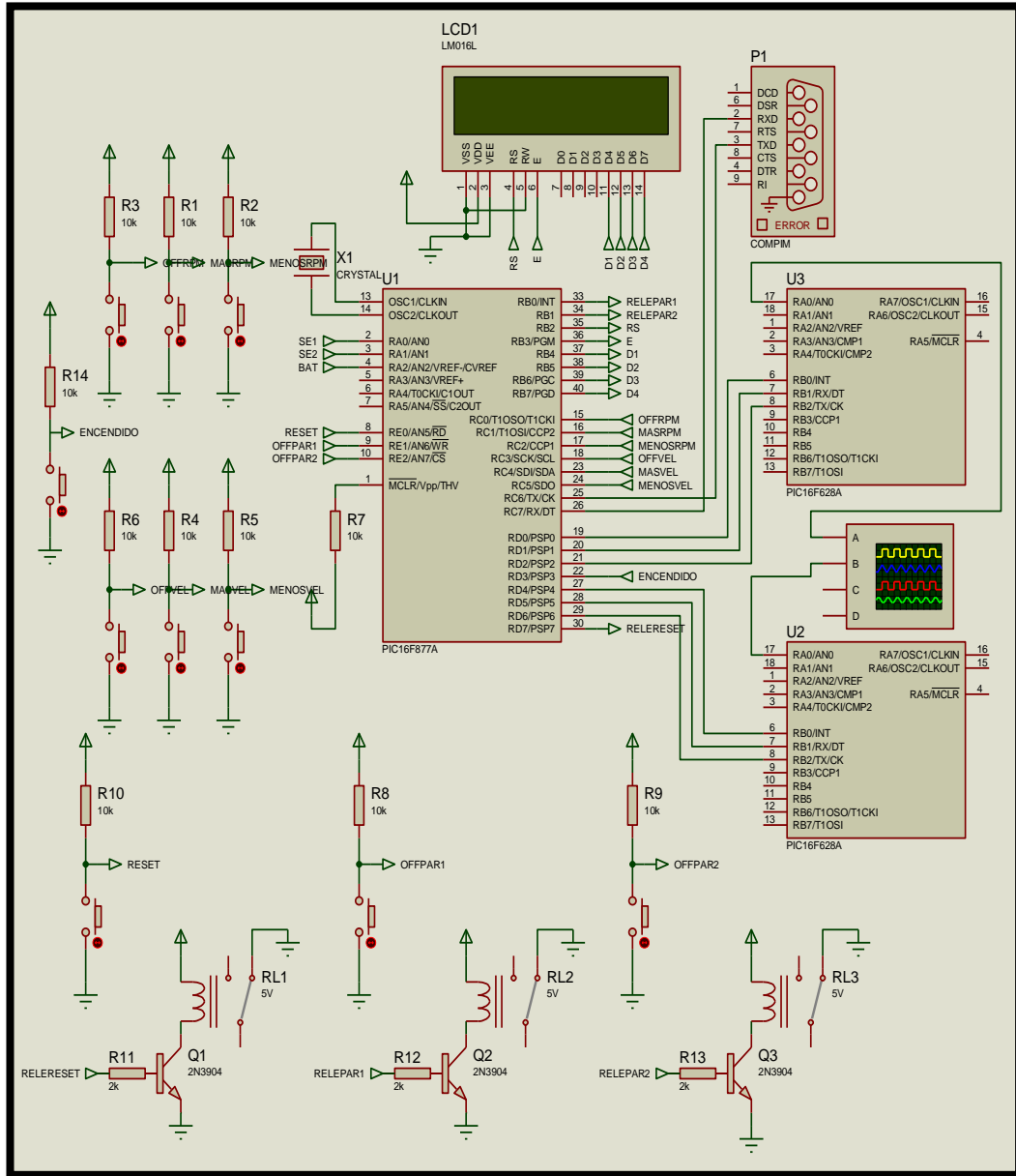


Figura 3.8 Circuito de control y recolección de señales del sistema MDPS
Fuente: Los Autores (ISIS PROTEUS 7.8)

3.3.1 LCD

Para poder visualizar la variación de las señales de RPM y Km/h de los sensores de velocidad del motor y velocidad del vehículo respectivamente se utilizó un LCD de 16x2 en el cual aparecerá una pantalla de bienvenida y un

mensaje “sensor OFF” para cada sensor si aún no son activados o se los desconecta.

Los datos de RPM y Km/h se los obtiene de las tablas: Tabla1 y Tabla2 del Anexo A que serán llamadas por la instrucción LOOKUP el cual tiene como índice (i) e (j) y como variable dato1 y dato2 respectivamente, según la activación de los pulsadores de aumentar y disminuir las RPM y Km/h.

Las líneas de programación referente al LCD se las puede observar en los recuadros de color rojo del programa realizado en MicroCode Studio en el Anexo A

En la Tabla 3.5 se muestra la descripción y función de cada pin del LCD y de acuerdo a esto se realizó las conexiones del mismo.

Tabla 3.5. Función de pines del LCD

Pin número	Símbolo	Función
1	Vss	Tierra ó Masa
2	Vdd	Alimentación + 5 VDC
3	Vo	Voltaje de ajuste de contraste (5v no visible, 0v más visible)
4	R/S	Selección de Dato / Comando
5	R/W	Lectura / Escritura
6	E	Habilitador
7	D0	1a línea de datos (LSB)
8	D1	2a línea de datos
9	D2	3a línea de datos
10	D3	4a línea de datos
11	D4	5a línea de datos
12	D5	6a línea de datos
13	D6	7a línea de datos
14	D7	8a línea de datos (MSB)
15	A	Alimentación Backlight +3.5 V a +5 V
16	K	GND del Backlight

Fuente: www.electromicrodigital.com

3.3.2 PULSADORES Y RELES DE RESET, SEÑAL PRINCIPAL Y AUXILIAR DE PAR

Con el propósito de que se pueda apreciar la variación de la asistencia de la dirección electromecánica en caso de perderse cualquiera de las dos señales del sensor de par se colocó dos pulsadores que activen a dos relés respectivamente para la desconexión de la señal principal o auxiliar del sensor de par, de igual manera se ha colocado un pulsador y un relé para cortar la alimentación del módulo MDPS en el caso de que se produzca alguna falla.

Las líneas de programación referente al Reset, Señal Principal y Auxiliar de Par se la puede observar en los recuadros de color verde del programa realizado en MicroCode Studio colocado en el Anexo A.

3.3.3 SEÑAL DE BATERÍA, SEÑALES PRINCIPAL Y AUXILIAR DE PAR

Para poder visualizar las formas de ondas de las señales principal y auxiliar del sensor de par en un ordenador primero es necesario introducir estas señales al PIC 16F877A, convertirlas de señales analógicas a digitales y almacenarlas para posteriormente utilizarlas con la interfaz creada en LabVIEW en el cual serán graficadas.

De igual manera que en el caso anterior se introdujo la señal de voltaje de la batería al PIC 16F877A con el fin de observar este valor con la interfaz creada en LabVIEW.

Las líneas de programación referente a las señales de batería, corriente del motor, señales principal y auxiliar de par se las puede observar en los recuadros de color celeste y la conversión de análogo digital del sensor de par se observa en el recuadro de color morado del programa realizado en MicroCode Studio colocado en el Anexo A.

3.3.4. SEÑAL DE CORRIENTE DEL MOTOR

La señal de corriente del motor no se la puede introducir directamente al PIC 16F877A debido a que su corriente es muy alta ya que al PIC 16F877A trabaja máximo con 5 V, por lo que se tomó la señal de corriente por medio de un shunt de 100 A el cual transforma la señal de corriente a voltaje según la siguiente relación: $100 \text{ A} = 50 \text{ mV}$.

Una vez transformada la corriente a milivoltios la amplificamos en un AD620 con una ganancia de 100. Debido a que a la salida del AD620 se obtienen valores positivos y negativos, utilizamos únicamente el valor absoluto de estos con la ayuda de un circuito en el que participan dos LM324, para así introducir el valor absoluto al PIC16F677A y poder graficar la señal de corriente en la interfaz creada en LabVIEW.

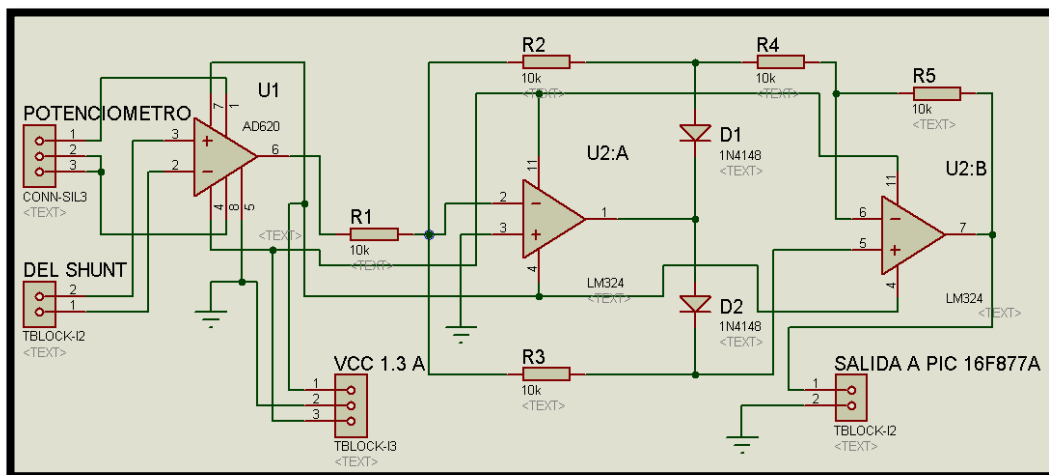


Figura 3.9 Circuito para la recolección de corriente del motor eléctrico
Fuente: Los Autores (ISIS PROTEUS 7.8)

3.4 COMUNICACIÓN

Las comunicaciones que se pueden establecer entre varios dispositivos se pueden clasificar de acuerdo a muchos parámetros, desde el punto de vista de la forma de transmitir los datos se tiene la comunicación serie (como RS-232, USB o firewire) o comunicación en paralelo (como GPIB, VXO o PXI).

Los sistemas serie, en comparación con los paralelo, tiene las siguientes características: transmisión a mayor distancia, menor costo y más sencillos en cuanto al hardware necesario.

La forma de comprobar errores más sencilla es añadir un bit de paridad, esta paridad puede ser par o impar, por ejemplo, si el dato es 0100111 y se trabaja con paridad impar, el bit de paridad valdrá 1 (para tener un numero de bits impar en la transmisión), así el dato transmitido será 01001111, donde el ultimo bit es de paridad.

Con el fin de poder visualizar en un ordenador las ondas de las señales del sensor de par, sensor de velocidad del vehículo, velocidad del motor, corriente del motor eléctrico, los valores del voltaje de la batería, torque aplicado al volante y poder controlar la variación de algunas señales se optó por utilizar una comunicación serial RS-232 debido a su modo de operación simple que se explicará a continuación.

3.4.1 RS-232

RS-232 significa Recomend Standard 232, está definido por el ANSI (American National Standard Institution) como “la interface entre un equipo terminal de datos y un equipo de comunicación de datos utilizando un intercambio binario en modo serie”

Los dispositivos son llamados DTE Data Terminal Equipment (por ejemplo un modem). El DTE usa un terminal macho mientras que al DCE se conecta un terminal hembra y es el encargado de establecer y mantener la conexión.

3.4.2 CARACTERÍSTICAS DEL RS232¹⁸

- Velocidad máxima original era 20 kbps, hay aplicaciones que llegan a 116 kbps.

1. ¹⁸Lajara José y Pelegri José. LabVIEW entorno grafico de programación. 1ra Edición. Editorial Alfaomega España 2007

- Longitud máxima del cable de 15 m
- Tensión en modo común máxima de ± 25 V
- Impedancias de 3 a 7 k
- Modo de operación simple
- Un emisor y un receptor
- Transmisión asíncrona o síncrona

En una transmisión asíncrona las tramas siguen el esquema básico

Start Datos(de 5 a 8 bits) Paridad Stop (1 o 2 bits)

3.4.3 CONECTORES

El RS-232 puede utilizar varios tipos de conectores siendo los más usados los de 25 pines, de 68 pines, Modular Jack de 10 pines, RJ45 de 8 pines y los de 9 pines. Los conectores que tienen muchos pines implementan varios canales secundarios y también tienen otras señales de temporización para transmisión síncronas. El conector DB-9 es el más habitual y es el que utilizamos en nuestro banco didáctico, consta de 5 líneas de recepción y 3 de transmisión. Las líneas se listan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Descripción de pines del conector DB9¹⁹

DB9	Nombre:	Descripción:
1	DCD	Data Carrier Detect
6	DSR	Data Set Ready
2	RD	Receive Data Line
7	RTS	Request To Sent
3	TD	Transmit Data

¹⁹Lajara José y Pelegri José. LabVIEW entorno grafico de programación. 1ra Edición. Editorial Alfaomega España 2007

		Line
8	CTS	Clear To Sent
4	DTR	Data Terminal Ready
9	RI	Ring Indicator
5	GND	Common Ground

Fuente: Lajara José y Pelegri José. LabVIEW entorno grafico de programación. 1ra Edición. Editorial Alfaomega España 2007

- **DCD:** el DCD la pone a 1 para indicar que está recibiendo una señal portadora.
- **DSR:** el DCE la pone a 1 para indicar al DTE que está conectado a la línea.
- **RD:** la entrada de datos. Si DCD=0 debe estar en un estado llamado Mark.
- **RTS:** el DTE pone a 1 para indicar que puede transmitir datos. El DCE pondrá a 1 la línea CTS para recibir los datos. Al acabar la transmisión RTS pasa a 0 y el DCE pone CTS también a 0.
- **TD:** salida de datos (del DTE al DCE). Si no se transmite estará en Mark. DSR, DTR, RTS y CTS deben estar a 1 para transmitir.
- **CTS:** el DCE la pone a 1 para indicar que está preparada para recibir datos. Si RTS, DSR y DTR están a 1, CTS también se pone a 1.
- **DTR:** el DTE la pone a 1 para indicar que puede recibir o quiere transmitir datos. El DTE pone un 0 para finalizar la transmisión.
- **RI:** el DCE la pone a 1 cuando está recibiendo una llamada.
- **GND:** tensión de referencia. Debe estar aislada de la toma de tierra del equipo.

3.4.4 CONFIGURACIÓN DE LOS REGISTROS DE COMUNICACIÓN

Debido a que se necesita enviar 10 Bits a la interfaz de LabVIEW, se repartió 8 bits en la variable RECEPCION y dos bits en la variable RECEPCION2. Para que los bits de la RECEPCION2 sean recibidos se hizo uso de un contador “conta” que en un tiempo recibe el bit de corriente y en otro el bit del botón Reset.

Las líneas de programación referente a la comunicación serial RS-232 se las puede observar en los recuadros de color amarillo del programa realizado en MicroCode Studio en las cuales se configuró los registros de comunicación.

En la Tabla 3.7 obtenida de Data Sheet se muestra todos los registros que posee el PIC 16F877A.

Tabla 3.7 Registros del PIC 16F877A

FIGURE 2-3: PIC16F876A/877A REGISTER FILE MAP

File Address	File Address	File Address	File Address
Indirect addr. ⁽¹⁾ 00h	Indirect addr. ⁽¹⁾ 80h	Indirect addr. ⁽¹⁾ 100h	Indirect addr. ⁽¹⁾ 180h
TMR0 01h	OPTION_REG 81h	TMR0 101h	OPTION_REG 181h
PCL 02h	PCL 82h	PCL 102h	PCL 182h
STATUS 03h	STATUS 83h	STATUS 103h	STATUS 183h
FSR 04h	FSR 84h	FSR 104h	FSR 184h
PORTA 05h	TRISA 85h		
PORTB 06h	TRISB 86h	PORTB 106h	TRISB 186h
PORTC 07h	TRISC 87h		
PORTD ⁽¹⁾ 08h	TRISD ⁽¹⁾ 88h		
PORTE ⁽¹⁾ 09h	TRISE ⁽¹⁾ 89h		
PCLATH 0Ah	PCLATH 8Ah	PCLATH 10Ah	PCLATH 18Ah
INTCON 0Bh	INTCON 8Bh	INTCON 10Bh	INTCON 18Bh
PIR1 0Ch	PIE1 8Ch	EEDATA 10Ch	EECON1 18Ch
PIR2 0Dh	PIE2 8Dh	EEADR 10Dh	EECON2 18Dh
TMR1L 0Eh	PCON 8Eh	EEDATH 10Eh	Reserved ⁽²⁾ 18Eh
TMR1H 0Fh		EEADRH 10Fh	Reserved ⁽²⁾ 18Fh
T1CON 10h			
TMR2 11h	SSPCON2 91h		
T2CON 12h	PR2 92h		
SSPBUF 13h	SSPADDD 93h		
SSPCON 14h	SSPSTAT 94h		
CCPR1L 15h			
CCPR1H 16h			
CCP1CON 17h			
RCSTA 18h	TXSTA 98h	General Purpose Register 16 Bytes 117h	General Purpose Register 16 Bytes 187h
TXREG 19h	SPBRG 99h		
RCREG 1Ah			
CCPR2L 1Bh			
CCPR2H 1Ch	CMCON 9Ch		
CCP2CON 1Dh	CVRCON 9Dh		
ADRESH 1Eh	ADRESL 9Eh		
ADCON0 1Fh	ADCON1 9Fh		
General Purpose Register 98 Bytes 7Fh	General Purpose Register 80 Bytes A0h	General Purpose Register 80 Bytes 120h	General Purpose Register 80 Bytes 1A0h
	accesses 70h-7Fh EFh F0h	accesses 70h-7Fh 16Fh 170h	accesses 70h - 7Fh 1EFh 1F0h
Bank 0	Bank 1	Bank 2	Bank 3

Unimplemented data memory locations, read as '0'.
 Not a physical register.

Note 1: These registers are not implemented on the PIC16F876A.
 Note 2: These registers are reserved; maintain these registers clear.

Fuente: PIC16F877A Data Sheet

Para entender mejor las configuraciones de los registros del PIC a continuación se muestran las tablas de configuración establecidas en el Data Sheet por el fabricante del PIC 16F877A y de acuerdo a nuestra necesidad se habilitó los bit encerrados en el recuadro de color rojo que se ven en la Figura 3.8.

- El registro INTCON fue configurado de la siguiente manera:

Intcon=%11000000

Al configurar con 1 el bit 6 se habilita las interrupciones periféricas propias del PIC.

Al configurar con 1 el bit 7 se habilita las interrupciones globales

Tabla 3.8 Configuración del Registro INTCON

REGISTER 2-3: INTCON REGISTER (ADDRESS 0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh)	
	R/W-0 R/W-0 R/W-0 R/W-0 R/W-0 R/W-0 R/W-0 R/W-x
	GIE PEIE TMR0IE INTE RBIE TMR0IF INTF RBIF
	bit 7 bit 0
bit 7	GIE: Global Interrupt Enable bit 1 = Enables all unmasked interrupts 0 = Disables all interrupts
bit 6	PEIE: Peripheral Interrupt Enable bit 1 = Enables all unmasked peripheral interrupts 0 = Disables all peripheral interrupts
bit 5	TMR0IE: TMR0 Overflow Interrupt Enable bit 1 = Enables the TMR0 interrupt 0 = Disables the TMR0 interrupt
bit 4	INTE: RB0/INT External Interrupt Enable bit 1 = Enables the RB0/INT external interrupt 0 = Disables the RB0/INT external interrupt
bit 3	RBIE: RB Port Change Interrupt Enable bit 1 = Enables the RB port change interrupt 0 = Disables the RB port change interrupt
bit 2	TMR0IF: TMR0 Overflow Interrupt Flag bit 1 = TMR0 register has overflowed (must be cleared in software) 0 = TMR0 register did not overflow
bit 1	INTF: RB0/INT External Interrupt Flag bit 1 = The RB0/INT external interrupt occurred (must be cleared in software) 0 = The RB0/INT external interrupt did not occur
bit 0	RBIF: RB Port Change Interrupt Flag bit 1 = At least one of the RB7:RB4 pins changed state; a mismatch condition will continue to set the bit. Reading PORTB will end the mismatch condition and allow the bit to be cleared (must be cleared in software). 0 = None of the RB7:RB4 pins have changed state

Fuente: PIC16F877A Data Sheet

- El registro PIE1 fue configurado de la siguiente manera:

PIE1=%00100000

Al configurar con 1 el bit 5 se habilita las interrupciones por recepción USART (UNIVERSAL SYNCHRONOUS ASYNCHRONOUS RECEIVER TRANSMITTER).

Tabla 3.9 Configuración del Registro PIE1

REGISTER 2-4: PIE1 REGISTER (ADDRESS 8Ch)	
	R/W-0 R/W-0 R/W-0 R/W-0 R/W-0 R/W-0 R/W-0 R/W-0
	PSPIE ⁽¹⁾ ADIE RCIE TXIE SSPIE CCP1IE TMR2IE TMR1IE
	bit 7 bit 0
bit 7	<p>PSPIE: Parallel Slave Port Read/Write Interrupt Enable bit⁽¹⁾</p> <p>1 = Enables the PSP read/write interrupt 0 = Disables the PSP read/write interrupt</p> <p>Note 1: PSPIE is reserved on PIC16F873A/876A devices; always maintain this bit clear.</p>
bit 6	<p>ADIE: A/D Converter Interrupt Enable bit</p> <p>1 = Enables the A/D converter interrupt 0 = Disables the A/D converter interrupt</p>
bit 5	<p>RCIE: USART Receive Interrupt Enable bit</p> <p>1 = Enables the USART receive interrupt 0 = Disables the USART receive interrupt</p>
bit 4	<p>TXIE: USART Transmit Interrupt Enable bit</p> <p>1 = Enables the USART transmit interrupt 0 = Disables the USART transmit interrupt</p>
bit 3	<p>SSPIE: Synchronous Serial Port Interrupt Enable bit</p> <p>1 = Enables the SSP interrupt 0 = Disables the SSP interrupt</p>
bit 2	<p>CCP1IE: CCP1 Interrupt Enable bit</p> <p>1 = Enables the CCP1 interrupt 0 = Disables the CCP1 interrupt</p>
bit 1	<p>TMR2IE: TMR2 to PR2 Match Interrupt Enable bit</p> <p>1 = Enables the TMR2 to PR2 match interrupt 0 = Disables the TMR2 to PR2 match interrupt</p>
bit 0	<p>TMR1IE: TMR1 Overflow Interrupt Enable bit</p> <p>1 = Enables the TMR1 overflow interrupt 0 = Disables the TMR1 overflow interrupt</p>

Fuente: PIC16F877A Data Sheet

- El registro RCSTA fue configurado de la siguiente manera:

RCSTA=%10010000

Al configurar con 1 el bit 4 se habilita la recepción continua

Al configurar con 1 el bit 7 se habilita el puerto para comunicación serial

Tabla 3.10. Configuración del Registro RCSTA

REGISTER 10-2: RCSTA: RECEIVE STATUS AND CONTROL REGISTER (ADDRESS 18h)								
	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-0	R-0	R-x
	SPEN	RX9	SREN	CREN	ADDEN	FERR	OERR	RX9D
	bit 7							bit 0
bit 7	SPEN: Serial Port Enable bit 1 = Serial port enabled (configures RC7/RX/DT and RC6/TX/CK pins as serial port pins) 0 = Serial port disabled							
bit 6	RX9: 9-bit Receive Enable bit 1 = Selects 9-bit reception 0 = Selects 8-bit reception							
bit 5	SREN: Single Receive Enable bit <u>Asynchronous mode:</u> Don't care. <u>Synchronous mode – Master:</u> 1 = Enables single receive 0 = Disables single receive This bit is cleared after reception is complete. <u>Synchronous mode – Slave:</u> Don't care.							
bit 4	CREN: Continuous Receive Enable bit <u>Asynchronous mode:</u> 1 = Enables continuous receive 0 = Disables continuous receive <u>Synchronous mode:</u> 1 = Enables continuous receive until enable bit CREN is cleared (CREN overrides SREN) 0 = Disables continuous receive							
bit 3	ADDEN: Address Detect Enable bit <u>Asynchronous mode 9-bit (RX9 = 1):</u> 1 = Enables address detection, enables interrupt and load of the receive buffer when RSR<8> is set 0 = Disables address detection, all bytes are received and ninth bit can be used as parity bit							
bit 2	FERR: Framing Error bit 1 = Framing error (can be updated by reading RCREG register and receive next valid byte) 0 = No framing error							
bit 1	OERR: Overrun Error bit 1 = Overrun error (can be cleared by clearing bit CREN) 0 = No overrun error							
bit 0	RX9D: 9th bit of Received Data (can be parity bit but must be calculated by user firmware)							

Fuente: PIC16F877A Data Sheet

- El registro TXSTA fue configurado de la siguiente manera:

TXSTA =%00100110

Al configurar con 1 el bit 1 se transmite los datos cuando está vacío el registro.

Al configurar con 1 el bit 2 se habilita el modo asincrónico en alta velocidad.

Al configurar con 1 el bit 5 se habilita el modo de transmisión asíncrona.

Tabla 3.11. Configuración del Registro TXSTA

REGISTER 10-1: TXSTA: TRANSMIT STATUS AND CONTROL REGISTER (ADDRESS 98h)								
	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R-1	R/W-0
	CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D
								bit 0
bit 7	CSRC: Clock Source Select bit <u>Asynchronous mode:</u> Don't care. <u>Synchronous mode:</u> 1 = Master mode (clock generated internally from BRG) 0 = Slave mode (clock from external source)							bit 0
bit 6	TX9: 9-bit Transmit Enable bit 1 = Selects 9-bit transmission 0 = Selects 8-bit transmission							
bit 5	TXEN: Transmit Enable bit 1 = Transmit enabled 0 = Transmit disabled Note: SREN/CREN overrides TXEN in Sync mode.							
bit 4	SYNC: USART Mode Select bit 1 = Synchronous mode 0 = Asynchronous mode							
bit 3	Unimplemented: Read as '0'							
bit 2	BRGH: High Baud Rate Select bit <u>Asynchronous mode:</u> 1 = High speed 0 = Low speed <u>Synchronous mode:</u> Unused in this mode.							
bit 1	TRMT: Transmit Shift Register Status bit 1 = TSR empty 0 = TSR full							
bit 0	TX9D: 9th bit of Transmit Data, can be Parity bit							

Fuente: PIC16F877A Data Sheet

- El registro spbrg fue configurado de la siguiente manera:

Spbrg= 67

Al configurar el spbrg con 67 se obtiene una velocidad de 9600 baud que es la velocidad normalizada para la comunicación serial al trabajar con un cristal configurado en 12 Mhz

Tabla 3.12. Configuración del Registro spbrg

TABLE 10-4: BAUD RATES FOR ASYNCHRONOUS MODE (BRGH = 1)									
BAUD RATE (K)	Fosc = 20 MHz			Fosc = 16 MHz			Fosc = 10 MHz		
	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)
0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.4	-	-	-	-	-	-	2.441	1.71	255
9.6	9.615	0.16	129	9.615	0.16	103	9.615	0.16	64
19.2	19.231	0.16	64	19.231	0.16	51	19.531	1.72	31
28.8	29.070	0.94	42	29.412	2.13	33	28.409	1.36	21
33.6	33.784	0.55	36	33.333	0.79	29	32.895	2.10	18
57.6	59.524	3.34	20	58.824	2.13	16	56.818	1.36	10
HIGH	4.883	-	255	3.906	-	255	2.441	-	255
LOW	1250.000	-	0	1000.000	-	0	625.000	-	0

BAUD RATE (K)	Fosc = 4 MHz			Fosc = 3.6864 MHz		
	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	% ERROR	SPBRG value (decimal)
0.3	-	-	-	-	-	-
1.2	1.202	0.17	207	1.2	0	191
2.4	2.404	0.17	103	2.4	0	95
9.6	9.615	0.16	25	9.6	0	23
19.2	19.231	0.16	12	19.2	0	11
28.8	27.798	3.55	8	28.8	0	7
33.6	35.714	6.29	6	32.9	2.04	6
57.6	62.500	8.51	3	57.6	0	3
HIGH	0.977	-	255	0.9	-	255
LOW	250.000	-	0	230.4	-	0

Fuente: PIC16F877A Data Sheet

- El registro Pir1 se lo utiliza de la siguiente manera:

Pir1=%00100000

Al activar con 1 el bit 5 se activa quiere decir que hay una interrupción por recepción de comunicación y al terminar la rutina de comunicación se debe resetear el registro para esperar la siguiente comunicación.

Tabla 3.13. Configuración del Registro PIR1

REGISTER 2-5: PIR1 REGISTER (ADDRESS 0Ch)	
	R/W-0 R/W-0 R-0 R-0 R/W-0 R/W-0 R/W-0 R/W-0
	PSPIF ⁽¹⁾ ADIF RCIF TXIF SSPIF CCP1IF TMR2IF TMR1IF
	bit 7 bit 0
bit 7	PSPIF: Parallel Slave Port Read/Write Interrupt Flag bit ⁽¹⁾ 1 = A read or a write operation has taken place (must be cleared in software) 0 = No read or write has occurred Note 1: PSPIF is reserved on PIC16F873A/876A devices; always maintain this bit clear.
bit 6	ADIF: A/D Converter Interrupt Flag bit 1 = An A/D conversion completed 0 = The A/D conversion is not complete
bit 5	RCIF: USART Receive Interrupt Flag bit 1 = The USART receive buffer is full 0 = The USART receive buffer is empty
bit 4	TXIF: USART Transmit Interrupt Flag bit 1 = The USART transmit buffer is empty 0 = The USART transmit buffer is full
bit 3	SSPIF: Synchronous Serial Port (SSP) Interrupt Flag bit 1 = The SSP interrupt condition has occurred and must be cleared in software before returning from the Interrupt Service Routine. The conditions that will set this bit are: <ul style="list-style-type: none"> • SPI – A transmission/reception has taken place. • I²C Slave – A transmission/reception has taken place. • I²C Master <ul style="list-style-type: none"> - A transmission/reception has taken place. - The initiated Start condition was completed by the SSP module. - The initiated Stop condition was completed by the SSP module. - The initiated Restart condition was completed by the SSP module. - The initiated Acknowledge condition was completed by the SSP module. - A Start condition occurred while the SSP module was Idle (multi-master system). - A Stop condition occurred while the SSP module was Idle (multi-master system). 0 = No SSP interrupt condition has occurred
bit 2	CCP1IF: CCP1 Interrupt Flag bit <u>Capture mode:</u> 1 = A TMR1 register capture occurred (must be cleared in software) 0 = No TMR1 register capture occurred <u>Compare mode:</u> 1 = A TMR1 register compare match occurred (must be cleared in software) 0 = No TMR1 register compare match occurred <u>PWM mode:</u> Unused in this mode.
bit 1	TMR2IF: TMR2 to PR2 Match Interrupt Flag bit 1 = TMR2 to PR2 match occurred (must be cleared in software) 0 = No TMR2 to PR2 match occurred
bit 0	TMR1IF: TMR1 Overflow Interrupt Flag bit 1 = TMR1 register overflowed (must be cleared in software) 0 = TMR1 register did not overflow

Fuente: PIC16F877A Data Sheet

Aprovechando la ventaja de que se puede controlar el banco didáctico desde LabVIEW, la idea es que en LabVIEW existan los mismos pulsadores que se va a tener físicamente en el banco didáctico y así poder activarlos manualmente o desde LabVIEW.

Para que el PIC reconozca que se ha activado un pulsador desde el ordenador específicamente del programa LabVIEW se creó una variable RECEPCION en la cual se irán almacenando los bits de cada uno de los pulsadores al asignarle el registro RCREG (RECEPCION=RCREG) por lo que se tiene desde una RECEPCION.0 hasta una RECEPCION.7 asignada a cada pulsador, con lo que quedan completos los 8 bits de este registro.

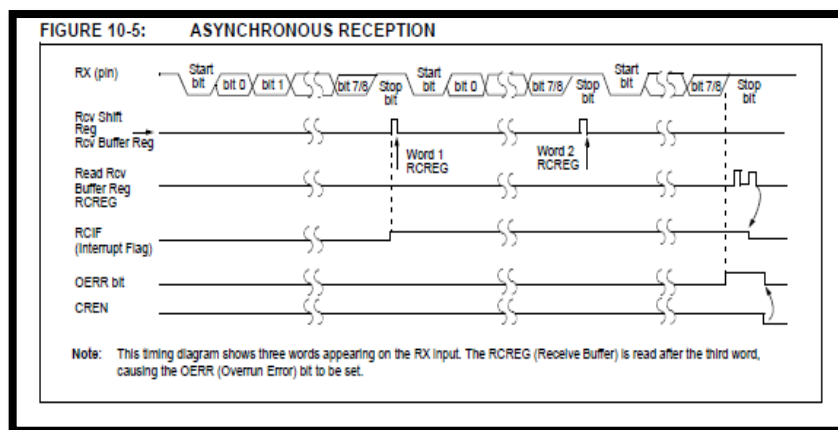


Figura 3.10 Recepción asíncrona
Fuente: PIC16F877A Data Sheet

Para poder transmitir desde el PIC al ordenador las señales de batería, señal principal y auxiliar del sensor de par, corriente del motor eléctrico y los datos de RPM y Km/h se programó para que todos estos datos se vayan almacenando uno a uno cada dos milisegundos en el registro de transmisión TXREG.

A continuación se muestra un fragmento de estas líneas de programación

TXREG=SENAL AUX

pause 2

TXREG=BAT

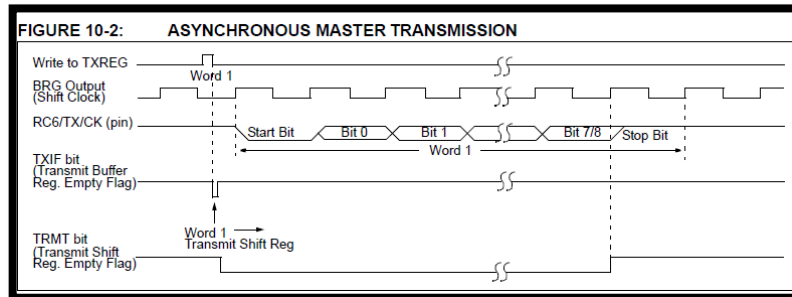


Figura 3.11 Transmisión Asíncrona
Fuente: PIC16F877A Data Sheet

El PIC al cumplir con la tarea de recepción y transmisión los registros se ponen en cero por lo que es necesario volver a configurar todos los registros al finalizar el programa.

3.5. RUTEADO DE PLACAS

El ruteado de la placa electrónica principal y de la placa del motor eléctrico se lo realizó en el programa Ares y se los observa en la Figura 3.12 y 3.13 respectivamente.

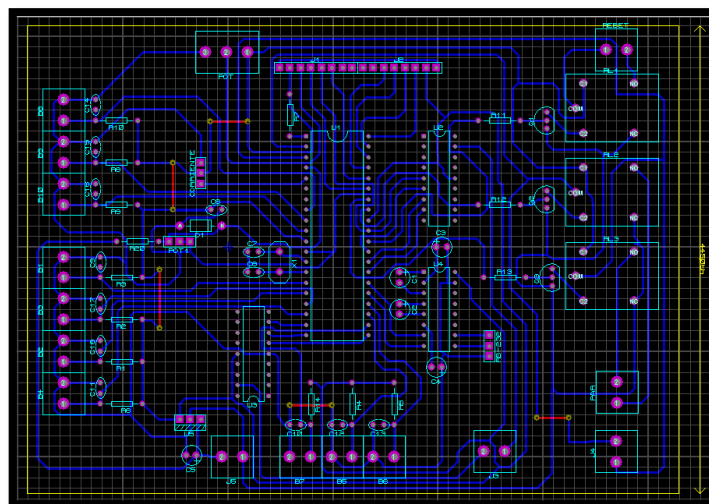


Figura 3.12 Ruteado de placa electrónica principal
Fuente: Los Autores

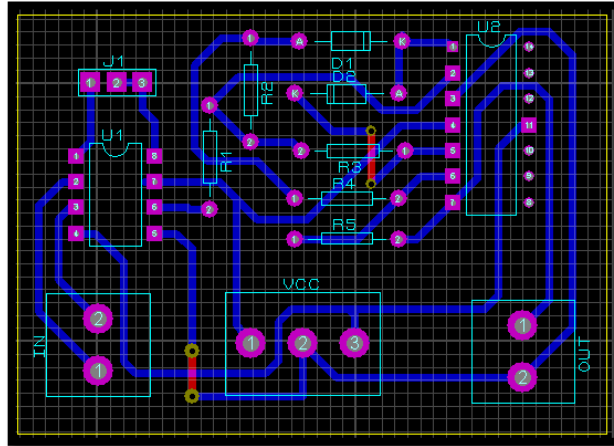


Figura 3.13 Ruteado de placa electrónica para tomar la corriente del motor eléctrico
Fuente: Los Autores

El programa Ares nos da la opción de poder visualizar la apariencia final de las placas en 3D como se muestran en las figura 3.14 y 3.15.

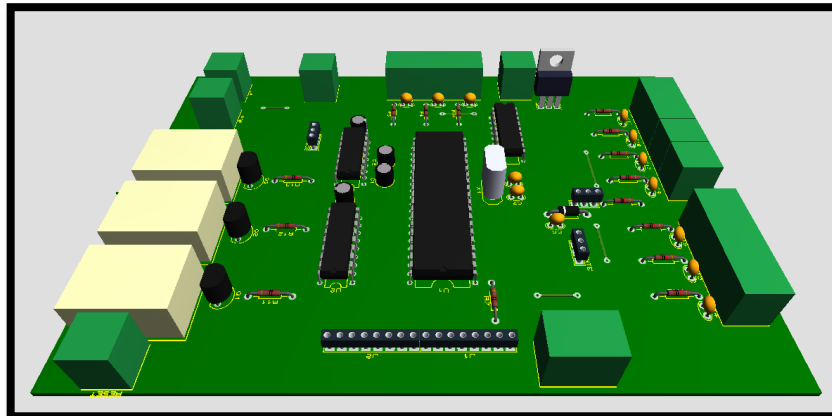


Figura 3.14 3D de la placa electrónica principal
Fuente: Los Autores

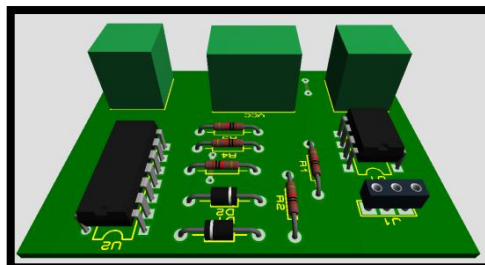


Figura 3.15 3D de la placa electrónica para tomar la corriente del motor eléctrico
Fuente: Los Autores

3.6 VISUALIZACIÓN Y CONTROL DE SEÑALES CON INTERFAZ EN LABVIEW

3.6.1 QUE ES LABVIEW

LabVIEW es una herramienta de programación gráfica o de lenguaje G orientada a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usados en el desarrollo de instrumentación virtual.

La mayoría de lenguajes se basan en una programación imperativa (una sucesión de operaciones). El lenguaje G no usa un programación imperativa sino una ejecución basada en el flujo de datos (dataflow). LabVIEW tiene dos ventanas principales, el Panel Frontal y el Diagrama de Bloques.

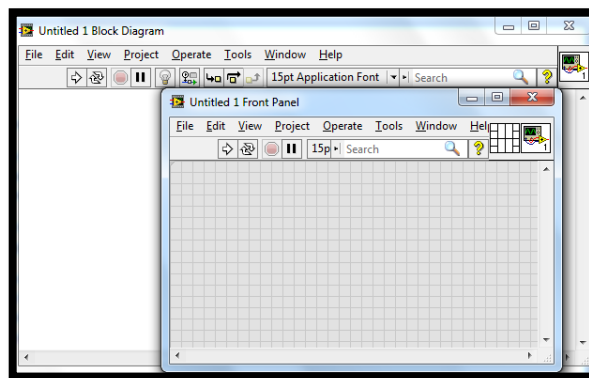


Figura 3.16 Panel Frontal y Diagrama de Bloques
Fuente: Los Autores

El Panel Frontal de fondo gris es la parte que ve el usuario y es donde se encuentran sus botones y pantallas. El Diagrama de Bloques de fondo blanco es donde se realiza la programación.

Para colocar funciones en el Diagrama de Bloques y terminales en el Panel Frontal se tienen unas paletas, llamadas paleta de funciones y de controles respectivamente.

Los datos circulan por el programa mediante cables, que sirven para unir unos elementos con otros. Un cable tendrá una única fuente (control,

constante o salida de otro elemento) y uno o varios destinos (indicador o entradas de otros elementos).

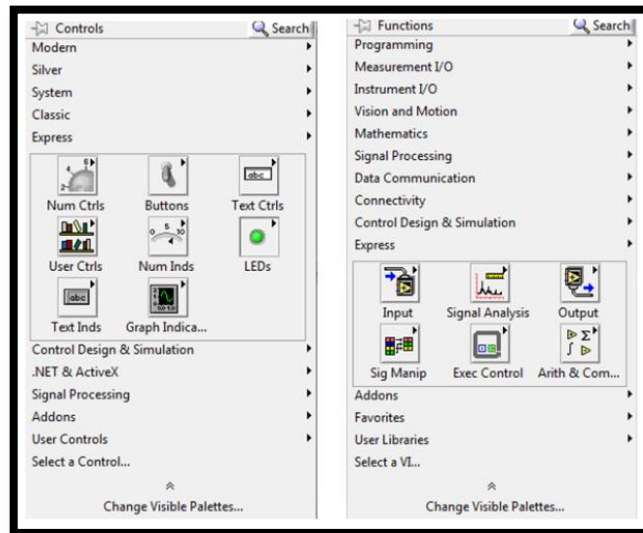


Figura 3.17 Controles y Funciones
Fuente: Los Autores

a. CONTROLES

En este menú se puede seleccionar los terminales que servirán para interactuar con el usuario. Estos terminales se dividen en controles que son las entradas y los indicadores que son las salidas. Están clasificados según su estilo en varios submenús y dentro de cada submenú hay otros menús que clasifican los controles por el tipo de datos.

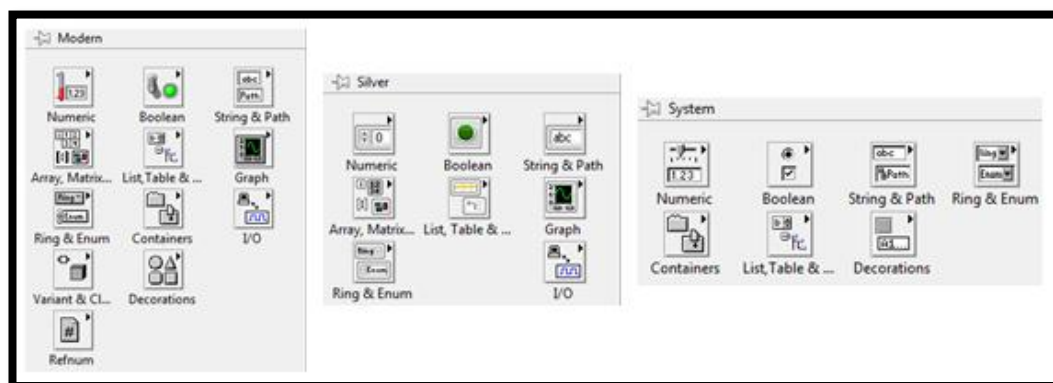


Figura 3.18 Submenús de Controles
Fuente: Los Autores

b. FUNCIONES

Esta paleta es la que se muestra al trabajar sobre el Diagrama de Bloques, en ella se puede acceder a las diferentes funciones, sub VIs y estructuras disponibles. De igual manera contiene varios submenús

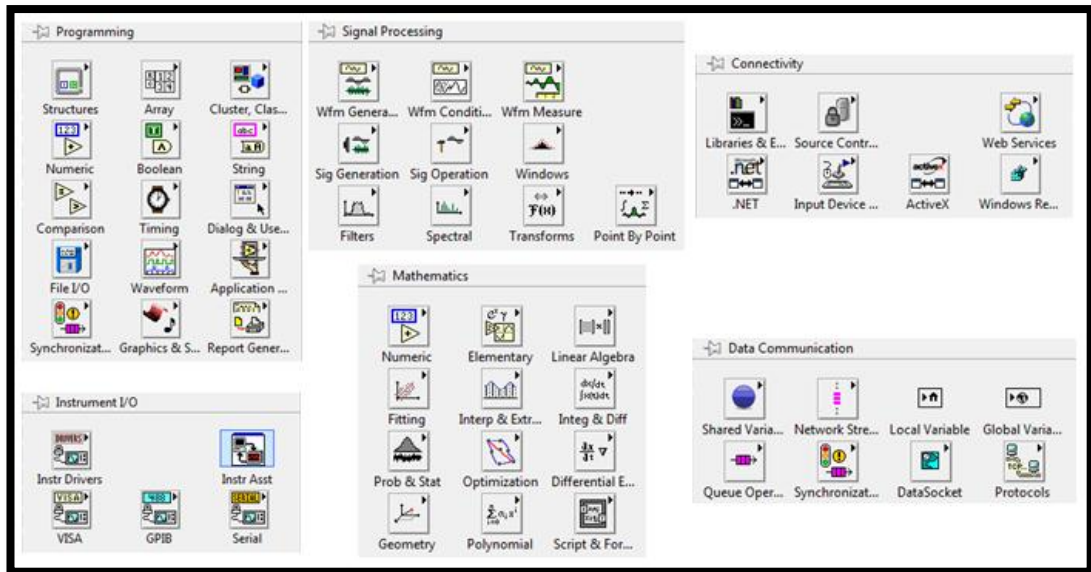


Figura 3.19. Submenús de Funciones
Fuente: Los Autores

c. VI y SubVI²⁰

Los ficheros con los programas creados en LabVIEW se llaman VIs (Virtual instrument). En muchas ocasiones un programa será de un tamaño tal que habrá que separarlo en varios ficheros o habrá alguna sección de código que convenga reutilizarla varias veces. Un VI puede contener a otro de forma que el segundo sería un SubVI del primero.

La forma más sencilla de conseguir esto es seleccionando la parte seleccionada del diagrama de bloques e ir a Edit>Create SubVI.

2. ²⁰Lajara J y Pelegri J. LabVIEW entorno grafico de programación. 1ra Edición. Editorial Alfaomega España 2007

Una vez creado el SubVI el siguiente paso será usarlo. Para insertar un VI dentro de otro se puede usar el método de arrastrar y soltar desde el directorio donde está almacenado hasta el diagrama de bloques del VI, o también se puede usar Select a VI desde la paleta de funciones.

d. ESTRUCTURAS

Las instrucciones permiten a un programa ejecutar un código de forma condicional o repetirlo cierto número de veces, estas instrucciones se encuentran en la paleta de funciones>programming>structures

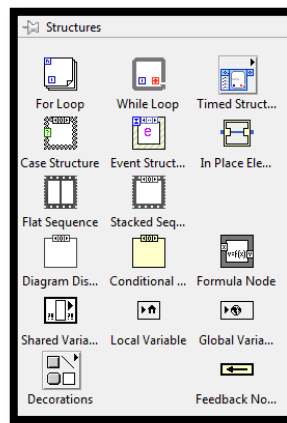


Figura 3.20. Estructuras
Fuente: Los Autores

d.1 SEQUENCE

En los lenguajes tradicionales basados en texto el orden de ejecución se corresponde con el orden en que las instrucciones están escritas, LabVIEW al tener un sistema de ejecución de flujo de datos (dataflow) necesita de esta estructura para determinar el orden de ejecución en el caso que haya dos nodos en condición de ejecutarse.

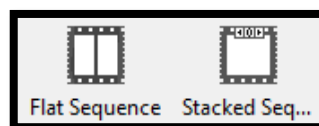


Figura 3.21. Estructura Sequence
Fuente: Los Autores

d.2 CASE

La estructura Case es equivalente a varias de los lenguajes basados en texto como IF, SWITCH, TRY. Su utilidad es ejecutar un código u otro dependiendo de una condición.

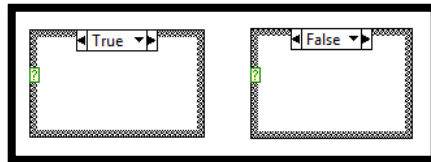


Figura 3.22. Estructura Case
Fuente: Los Autores

El terminal que aparece en el lado izquierdo marcado con el símbolo de (?) es llamado selector. El valor que llega a este selector es la condición que se evalúa para seleccionar el subdiagrama a ejecutar.

Pueden conectarse al selector datos booleanos, numéricos, String y clusters de error.

Para un selector booleano solo se tendrán dos casos: verdadero o falso. Para numéricos la condición será que el dato del selector sea igual al mostrado en el menú del CASE.

d.3 WHILE

El bucle WHILE repetirá el código de su interior hasta que se cumpla una condición, la cual es evaluada en cada iteración, en la siguiente figura puede verse el bucle WHILE donde se aprecian dos terminales.

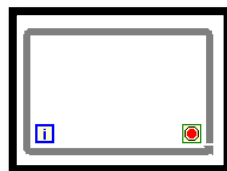


Figura 3.23. Estructura While
Fuente: Los Autores

- El terminal de iteración con el símbolo **(i)**. El valor de este terminal es un número entero que irá aumentando en una unidad por cada iteración del bucle, empezando a contar desde 0.
- La condición de stop es el terminal verde de la derecha. A este terminal se podrá conectar un valor booleano o un cluster de error.

d.4 FOR

Repite el código de su interior un número de veces pero fijo y no puede cambiarse una vez que empieza a ejecutarse.

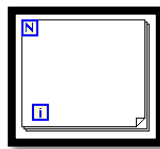


Figura 3.24. Estructura FOR
Fuente: Los Autores

- El terminal de iteración **(i)** se va incrementando en una unidad por cada iteración empezando desde 0.
- El terminal de cuenta esta simbolizado con una **(N)** en él se conectara un valor numérico que será el que fije el número de repeticiones del bucle.

d.5 EVENT

Es similar al CASE con la diferencia que EVENT detiene la ejecución del hilo del programa hasta que se da esa condición, es decir congela el programa hasta que ocurra un evento.

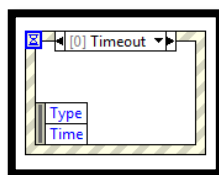


Figura 3.25. Estructura Event
Fuente: Los Autores

El código del diagrama para el Evento Timeout se ejecutará cuando pase el número de milisegundos indicados en el terminal superior izquierdo.

e. TIPOS DE DATOS

El tipo de datos se representa en el Diagrama de Bloques por el color del terminal y del cable.

e.1 BOOLEAN

Pueden tener dos posibles valores: verdadero (TRUE) o falso (FALSE) y suelen ser botones o pulsadores. Cada dato booleano se almacena en un byte, si este byte tiene todos sus bites a cero, el dato tendrá el valor FALSE y cualquier otro valor del byte hará que el dato pase a TRUE.

e.2 NUMERIC

Los números enteros tienen asociado el color azul y puede elegirse su tamaño (8,16, 32 o 64 bits), si se emplea un bit de signo (signed o unsigned) y su representación (binario, octal, decimal, hexadecimal). Los números racionales y complejos tienen asociado el color naranja y el tamaño es de 32 bits para los de precisión simple y 64 para los de precisión doble.

e.3 STRINGS

Son cadenas de caracteres y tienen asociado el color rosa, se almacena en cuatro bytes que indican el tamaño y los valores de los caracteres, así el texto "hola" se almacenará como "0000 0004 686F 6C61", siendo 4 el tamaño y 68h, 6Fh, 6Ch y 61h los códigos ASCII de cada una de las letras.

Las transformaciones de números a texto y viceversa son muy usadas para hacer algún cálculo con ellos. En la paleta Programming>String>String/Number Conversión se encuentran varios VIs para realizar estas transformaciones.

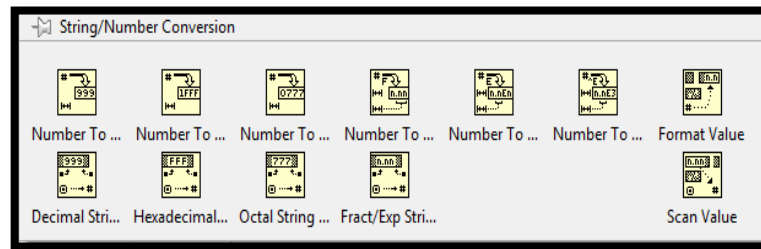


Figura 3.26. Paleta de conversión numero/texto
Fuente: Los Autores

e.4 ARRAYS

Son un conjunto de datos ordenados y de un tipo determinado de esta forma no puede hablarse simplemente de array sino array de booleanos, array de String, etc. El cableado es del mismo color que el tipo de datos que contiene pero más grueso y en el caso de los numéricos el cableado es de doble línea.

En memoria se guarda un puntero a una estructura que consta del tamaño de cada dimensión en cuatro bytes por cada uno y los datos guardados en el formato que corresponda al tipo de datos.

f. COMUNICACIÓN EN SERIE CON LABVIEW²¹

La paleta para el puerto serie está en Instrument I/O>Serial

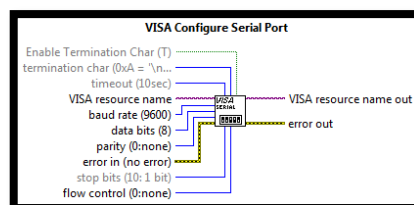


Figura 3.27. VISA Configure Serial Port
Fuente: Los Autores

Inicializa el puerto serial especificado con los parámetros de velocidad, protocolo, paridad etc. VISA resource name es un identificador lógico que

²¹Lajara José y Pelegri José. LabVIEW entorno grafico de programación. 1ra Edición. Editorial Alfaomega España 2007

sirve para comunicarse con un recurso manteniendo una sesión en la que se pueden realizar varias operaciones.

f.1 VISA Write

Escribe datos desde el buffer hasta el otro dispositivo se puede hacer que este VI y el siguiente utilicen una transmisión síncrona o asíncrona.

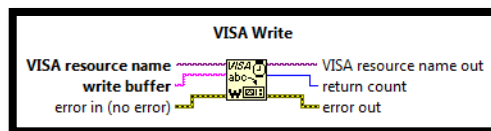


Figura 3.28. VISA Write
Fuente: Los Autores

f.2 VISA Read

Es el contrario al anterior. Hay que indicarle el número de Bit que debe leer el buffer para darle un valor a este parámetro suele usarle la salida de la propiedad VISA Bytes at Serial Port.

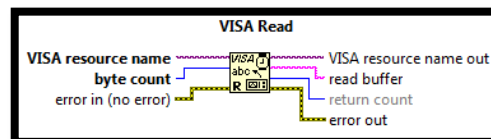


Figura 3.29. VISA Read
Fuente: Los Autores

f.3 VISA Close

Cierra una sesión VISA. Para abrirlas se usa el VI Instrument I/O > VISA > VISA Advanced > VISA Open. Se pueden cerrar automáticamente en el menú Tools > Options > Environment > Automatically close VISA sessions.

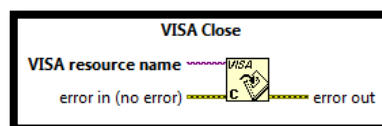


Figura 3.30. VISA Close
Fuente: Los Autores

3.6.2. INTERFAZ CREADA EN LABVIEW

En la Figura 3.31 se muestra la pantalla de bienvenida que aparece en la interfaz creada en LabVIEW.



Figura 3.31. Visualización del programa en el Panel Frontal
Fuente: Los Autores (LabVIEW 11.0)

En la Figura 3.32 se muestra la pantalla de la interfaz de LabVIEW en donde podremos visualizar las gráficas de velocidad del vehículo, velocidad del motor, sensor de par y corriente del motor de igual manera los datos del voltaje de batería y el torque aplicado en el volante.

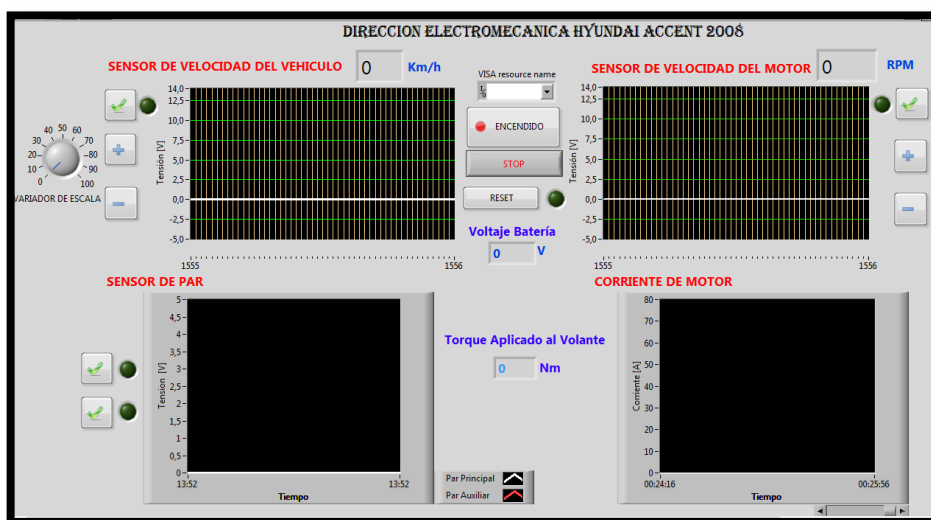


Figura 3.32. Visualización del programa en el Panel Frontal
Fuente: Los Autores (LabVIEW 11.0)

En la Figura 3.33 se muestra la programación realizada en el diagrama de bloques, que posteriormente se explicará detalladamente.

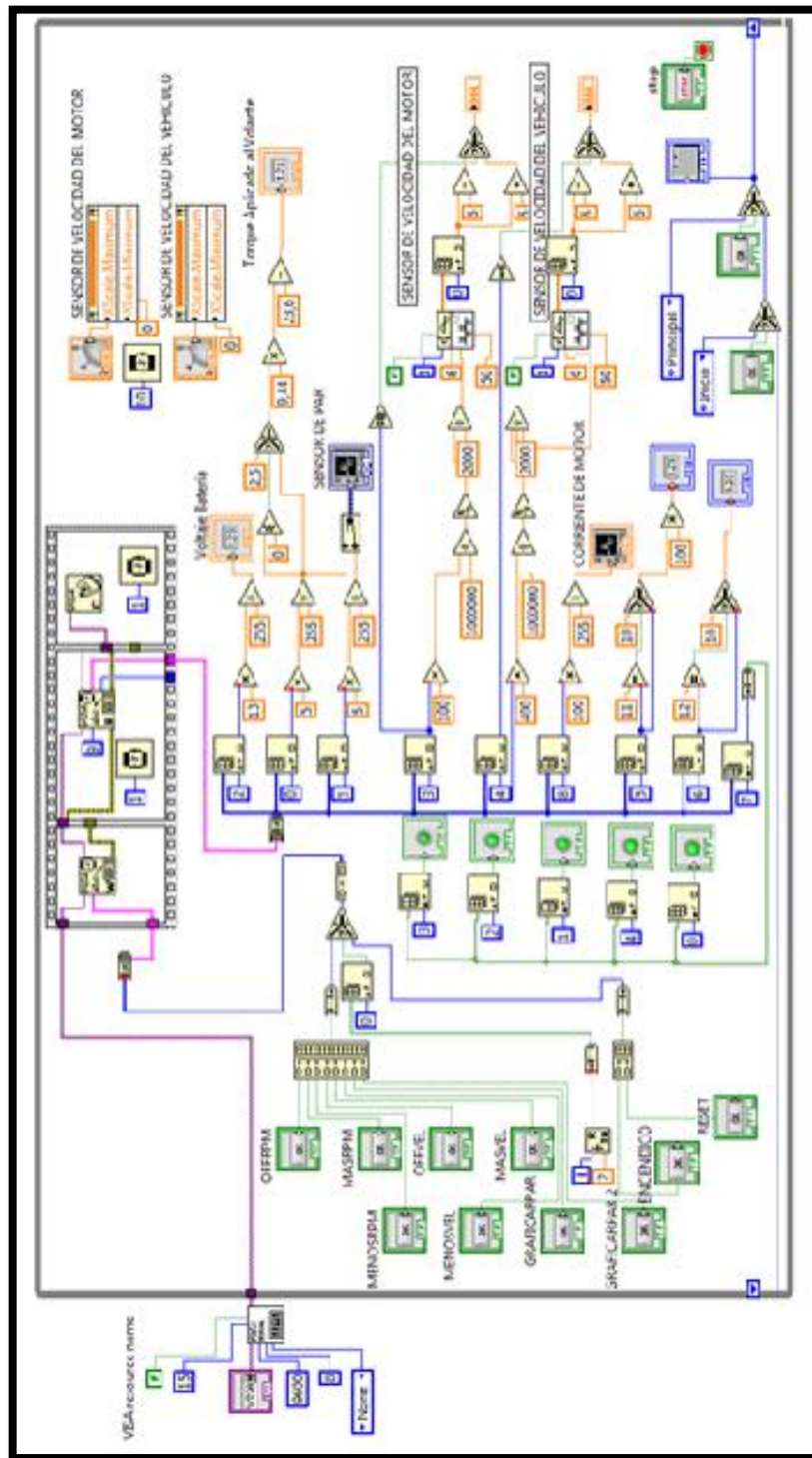


Figura 3.33. Programación en el Diagrama de bloques de LabVIEW
Fuente: Los Autores (LabVIEW 11.0)

Se estableció el modo de comunicación utilizando “*VISA serial*” al cual se configuró con una velocidad de 9600 baud, de 8 bits, sin ninguna paridad y ningún flujo de control.

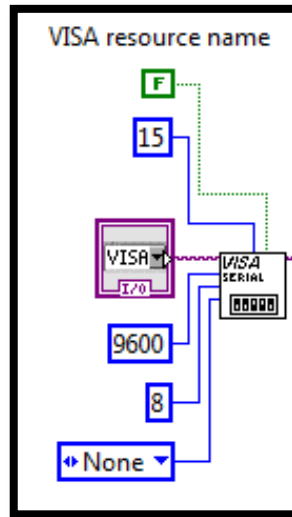


Figura 3.34. Configuración de VISA Serial
Fuente: Los Autores (LabVIEW 11.0)

Toda la programación se realizó dentro de una estructura “*WHILE LOOP*”, que ejecuta el diagrama en su interior mientras el usuario no indique lo contrario con la activación del botón “*STOP*” en el panel de control.

Se colocó diez pulsadores que cumplen las mismas funciones que los pulsadores que se activan manualmente. Para la transmisión de datos de los primeros ocho pulsadores hacia el puerto de comunicación serial se colocó un “*Build Array*” el cual agrupa y transforma los datos booleanos de los pulsadores a datos booleanos array.

Para la transmisión de los dos pulsadores restantes de igual forma se colocó un “*Build Array*” el cual agrupa y transforma los datos booleanos de los pulsadores a datos booleanos array.

Se agrupó en dos partes los pulsadores ya que la comunicación permite hasta ocho bits por lo que se colocó un “*Select*” el cual pregunta si la

Se colocó una estructura “*Flad Sequence*” la cual se caracteriza por realizar la ejecución del programa respetando el orden que se encuentren los Frame. En este caso primero se ejecuta la “*VISA Write*” que envía al puerto los datos de los pulsadores, después se ejecuta en “*VISA Read*” el cual lee los nueve datos enviados por el PIC haciendo una pausa de un milisegundo ya que a esta visa hay que configurarle el número de datos que tiene que leer, es decir que en el momento que haya una recepción y transmisión primero se ejecutará la transmisión del ordenador al PIC y finalmente para finalizar la sesión se colocó el “*VISA Close*” de igual manera hace una pausa de un milisegundo para continuar con el programa.

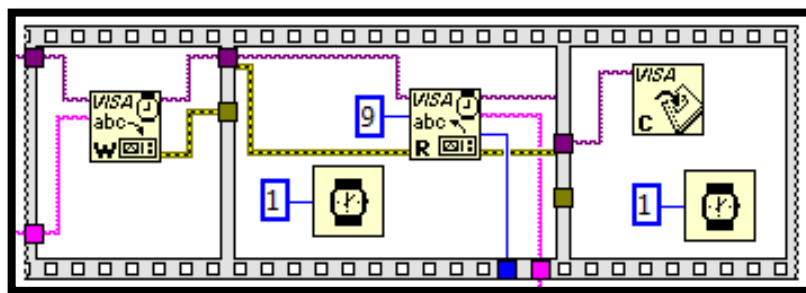


Figura 3.36. Configuración de la estructura Flat Sequence y VISA
Fuente: Los Autores (LabVIEW 11.0)

Después de que los datos son leídos por “*VISA Read*” los datos son enviados a “*String To Byte Array*” para que convierta de dato String a dato Byte Array para almacenar los Bits en una matriz de una columna según el número de Index configurado en el “*Index Array*”.

Al “*Index array*” del bit ocho llegan la señal de los pulsadores de activación del sensor de velocidad del vehículo, velocidad del motor, par principal, par auxiliar y Reset, para de ahí convertirlos a booleanos con un “*Number to Boolean Array*” y de este nuevamente a sus Index Array correspondientes, para encender sus indicadores luminosos en el panel frontal y así saber si los pulsadores se encuentran activados o desactivados.

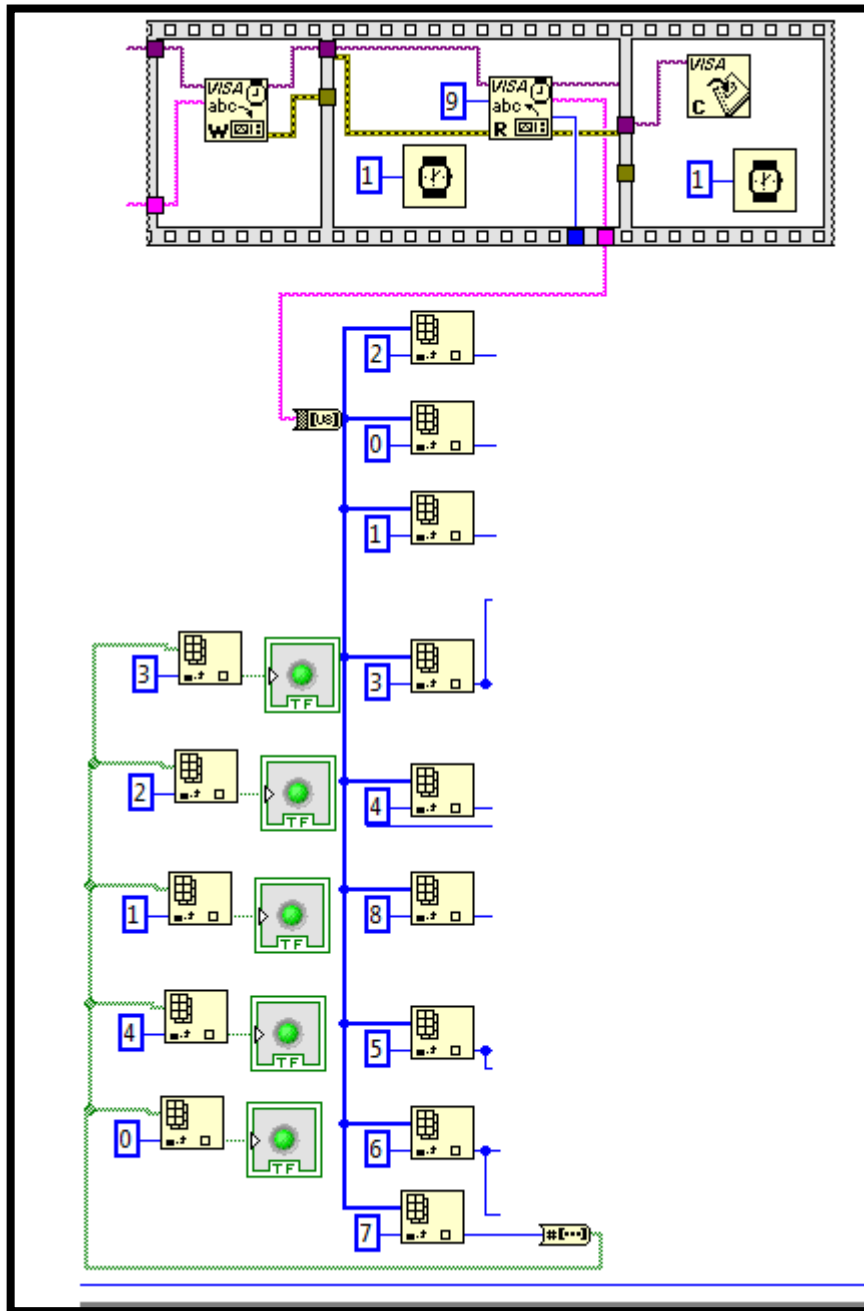


Figura 3.37. Configuración de Datos leídos por VISA
Fuente: Los Autores (LabVIEW 11.0)

Una vez almacenados los bits 0 y 1 en Index Array provenientes de las señales principal y auxiliar del sensor de par, se realiza una operación para transformar los bits, con los que llegan esas señales a un valor numérico que represente el voltaje de ambas señales, sabiendo que 5

voltios es igual a 255 bits, para agruparlas en un “Merge Signals” y graficarlas en un “Waveform Chart”.

Del valor numérico del voltaje de la señal principal se realizó una serie de operaciones para transformar el valor de voltaje en otro valor numérico el cual represente el torque aplicado al volante, tomando en cuenta los datos de la Figura 3.38.

Para obtener el valor del torque aplicado en el volante buscamos la ecuación siguiente:

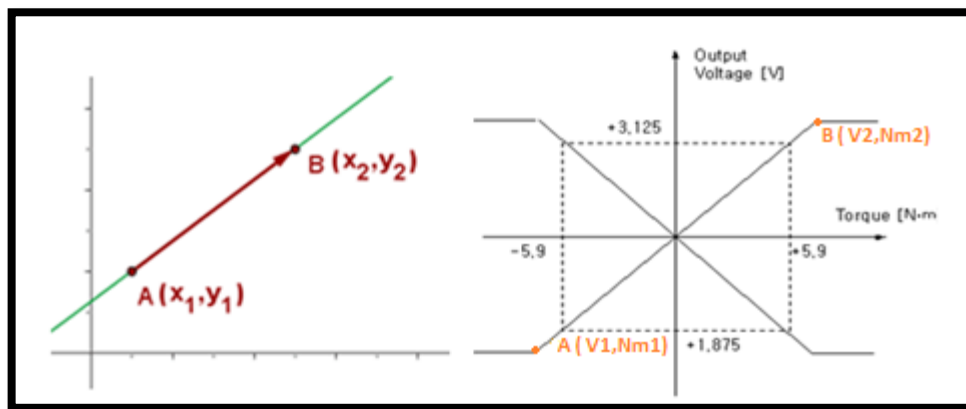


Figura 3.38. Voltaje vs torque del sistema MDPS
Fuente: Los Autores

$$\frac{X-X_1}{X_2-X_1} = \frac{Y-Y_1}{Y_2-Y_1} \text{ Ec. 3.1}$$

$$\frac{Nm - Nm_1}{Nm_2 - Nm_1} = \frac{V - V_1}{V_2 - V_1}$$

$$\frac{Nm - (-5.9)}{5.9 - (-5.9)} = \frac{V - 1.875}{3.125 - 1.875}$$

$$Nm = 9.44V - 23.6$$

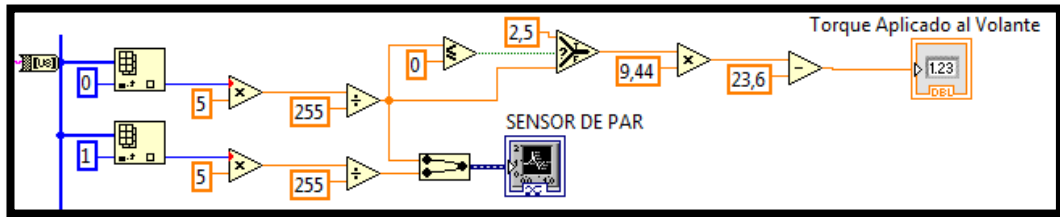


Figura 3.39. Programación para graficar las señales del sensor de par y de un indicador del torque aplicado en el volante
Fuente: Los Autores (LabVIEW 11.0)

Para mostrar el valor del voltaje de la batería que alimenta al sistema MDPS se realizó la misma operación para transformar de bits a un valor numérico de voltaje y mostrarlo en un indicador numérico.

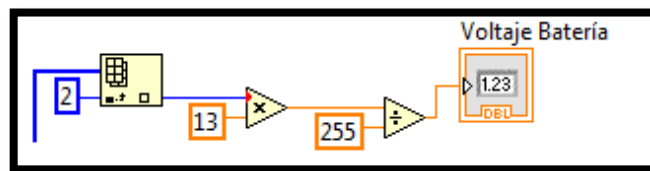


Figura 3.40. Programación para el indicador del voltaje de batería
Fuente: Los Autores (LabVIEW 11.0)

Almacenados los datos de las tablas en Index Array se realizó la operación para transformar el valor de las tablas de RPM y Km/h de micro segundos para tener el valor en frecuencia, dicho valor es enviado a "Square Wave" el cual va a graficar la onda cuadrada en el que configuramos el número de muestras (1), la amplitud de la onda (6) y el ciclo de trabajo (50%), una vez configurado el dato que va enviar es un arreglo del cual se selecciona el primer dato con "Index Array", posteriormente se pregunta en un "Select" si el dato de voltaje es cero, entonces la gráfica le resta 6 para llegar al valor de cero Voltios y si el dato de voltaje es 6, entonces la gráfica le suma 6 para llegar al valor de 12 V , finalmente se envía a graficarlos en un "Waveform Chart".

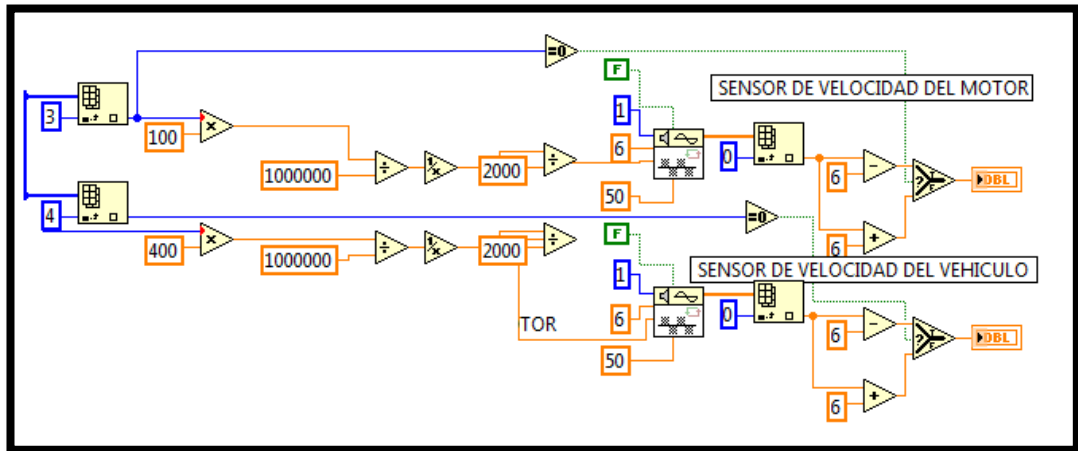


Figura 3.41. Programación para graficar las señales de velocidad del motor y velocidad del vehículo
Fuente: Los Autores (LabVIEW 11.0)

Para los indicadores de velocidad del vehículo y revoluciones del motor ingresa los datos por "Index array" si el valor no es 11 ni 12 ingresa directamente y el dato se muestra en el indicador de revoluciones y velocidad del vehículo.

Si el dato es 11 se interpreta como falso el cual va a enviar 10 y va a ser multiplicado por 100 para obtener 1000 rpm y si el dato es 12 de la misma forma interpreta como un dato falso y se muestra en el indicador el número 10.

Esto se realizó debido a que cuando el valor es 10 Km/h y 1000 rpm, LabVIEW interpreta como si finalizara la comunicación.

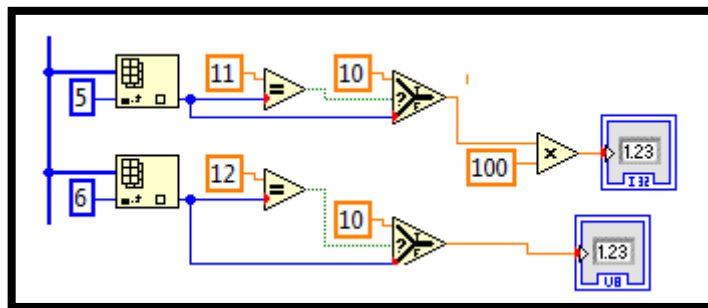


Figura 3.42. Programación para los indicadores de velocidad y rpm
Fuente: Los Autores (LabVIEW 11.0)

Para la gráfica de la corriente se realiza una operación para transformar los bits, con los que llega esa señales a un valor numérico que represente el voltaje, sabiendo que 100 Amperios es igual a 255 bits, para agruparlas en graficarlas en un “*Waveform Chart*”.

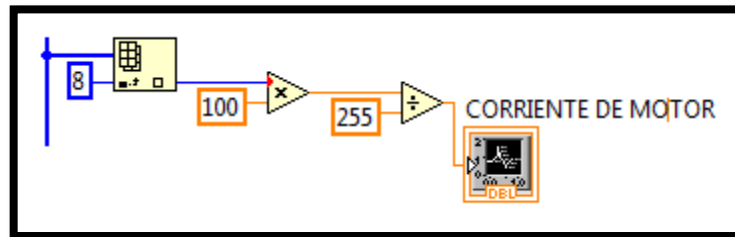


Figura 3.43 Programación para la grafica de corriente del motor
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

En la pantalla de bienvenida se tiene un botón INICIAR (en el diagrama de bloques llamado Inicio), el cual permite ingresar a la pantalla de datos, en la pantalla de datos se tiene un botón SALIR (en el diagrama de bloques llamado Principal). Cada uno de estos botones entra a un “Select” para preguntar si han sido activados y mostrar la pantalla del botón correspondiente.

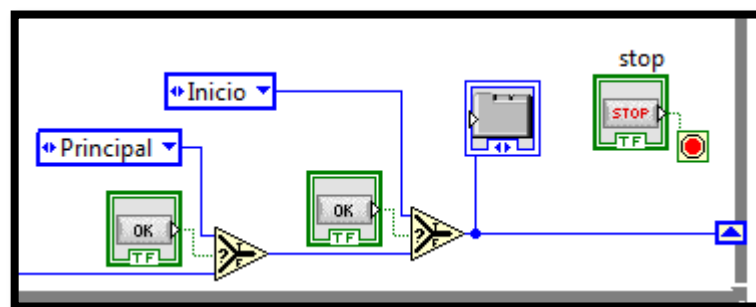


Figura 3.44. Programación para boton stop e inicio
Fuente: Los Autores (LabVIEW 11.0)

Finalmente se realizó un ejecutable en un CD para poder instalar el software en cualquier ordenador.

CAPÍTULO IV

DISEÑO MECÁNICO DEL BANCO DIDÁCTICO

4.1. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DIDÁCTICO

Para el diseño mecánico de la estructura del banco didáctico se utilizó el programa SolidWorks que es un software CAD (Diseño asistido por computador), que permite el desarrollo de diseños tridimensionales (3D), el cual tiene la ventaja de permitir croquizar ideas con rapidez, experimentar con operaciones y cotas, y producir modelos y dibujos detallados, cálculos rápidos y exactos de ciertas propiedades, como la masa, la localización del centro de gravedad y los momentos de inercia de masa.

SolidWorks emplea un procedimiento de diseño en 3D. Al diseñar una pieza, desde el croquis inicial hasta el resultado final, se crea un modelo en 3D. A partir de este modelo, se puede crear dibujos en 2D o componentes de relaciones de posición que consten de piezas o subensamblajes para crear ensamblajes en 3D.

4.1.1. PARÁMETROS DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

- **Resistencia:** Que soporte la masa del sistema de dirección (columna, cremallera y terminales).
- **Distorsión:** Que no se deforme en los puntos críticos de sujeción de la columna de dirección.
- **Corrosión:** Que soporte cualquier ataque electroquímico del entorno, protegiendo el material con la pintura adecuada.
- **Costo:** Que sea económico sin que esto afecte la seguridad del diseño.

- **Peso:** Que se lo pueda movilizar sin la necesidad de mucho esfuerzo.
- **Forma:** Que sea atractivo y ergonómico a la vez.
- **Tamaño:** Que permitan la ubicación de los componentes del sistema de dirección.
- **Control:** Que sea fácil y factible de operar.

4.1.2. CROQUIS EN 3D DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DIDÁCTICO

El diseño de la estructura se lo realizó con perfiles en L de 25x25x3 mm que son los pintados de color Plomo de la Figura 4.1 para las partes donde no se requiere mucho esfuerzo y de 30x30x4 mm que son los de color Azul para las vigas donde van a ir situados los puntos de sujeción de la columna, cremallera y freno que es donde se va a producir el mayor esfuerzo.

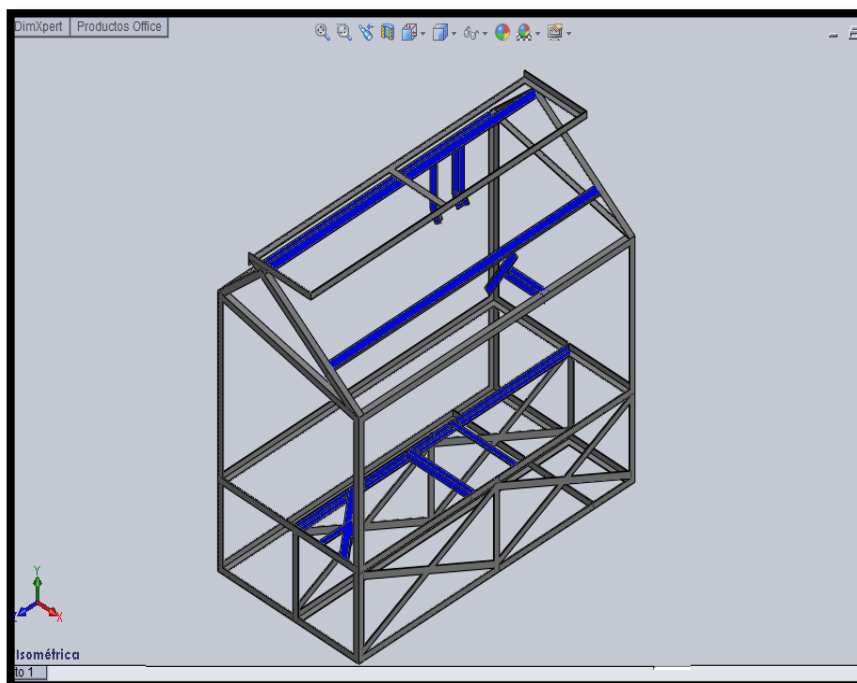


Figura 4.1. Croquis en 3D de la estructura del banco didáctico
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

4.1.3. ESTUDIO DE ANÁLISIS ESTÁTICO EN SIMULATIONXPRESS

SimulationXpress ayuda a predecir el comportamiento de una pieza bajo los efectos de una carga, así como a detectar posibles problemas en las etapas iniciales del ciclo de diseño.

En SimulationXpress se aplican cargas y sujeciones a una pieza, se especifica su material, se analiza y se ven sus resultados.

a. SUJECIONES

Se aplicó una sujeción en la cara inferior (cara 1) para evitar que la estructura se mueva cuando se aplican cargas.

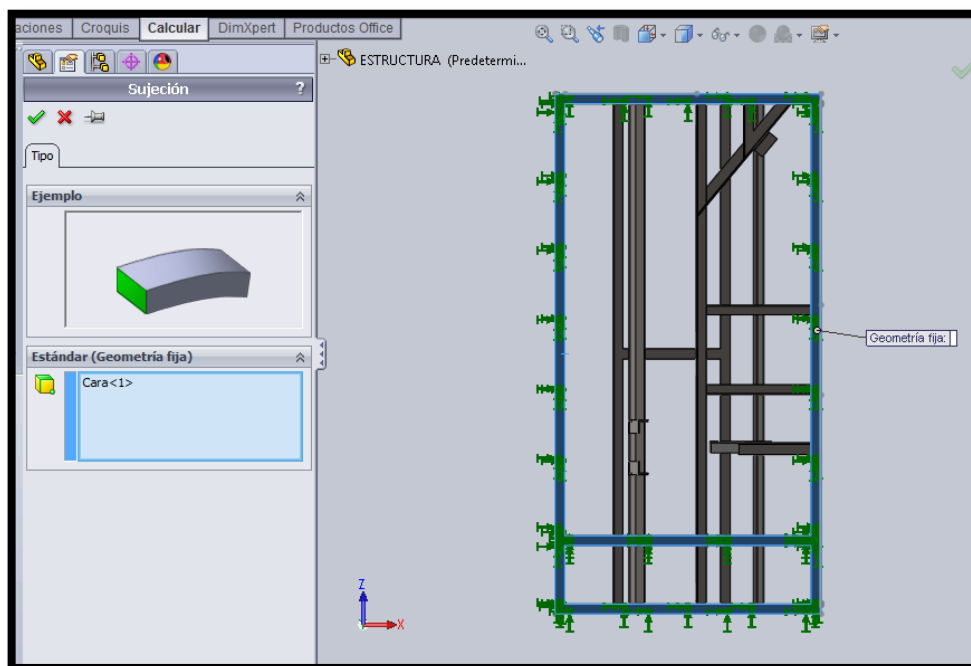


Figura 4.2. Sujeciones de la estructura
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

b. CARGAS

Debido a que la masa total de la columna de dirección es de 16.73 lb, equivalente a 74.46 N, se la distribuyó en tres puntos de las vigas

superiores longitudinales de los cuales se sujeta la columna, por lo que en cada punto se aplicó una carga de 24.82 N.

En las vigas transversales inferiores de la estructura donde va montada la cremallera y el freno se aplicó una carga de 4200 N que es la que se obtiene cuando en el volante se aplica una fuerza de 300 N que es considerada normal sin causar molestias al conductor y tomando en cuenta que la relación de transmisión de la caja de dirección que se ocupó es de 14:1.

El cálculo se lo detalla en la ecuación 4.1

$$Fr = Fv \times it \quad \text{Ec. 4.1.}$$

$$Fr = 300 \text{ N} \times 14$$

$$Fr = 4200 \text{ N}$$

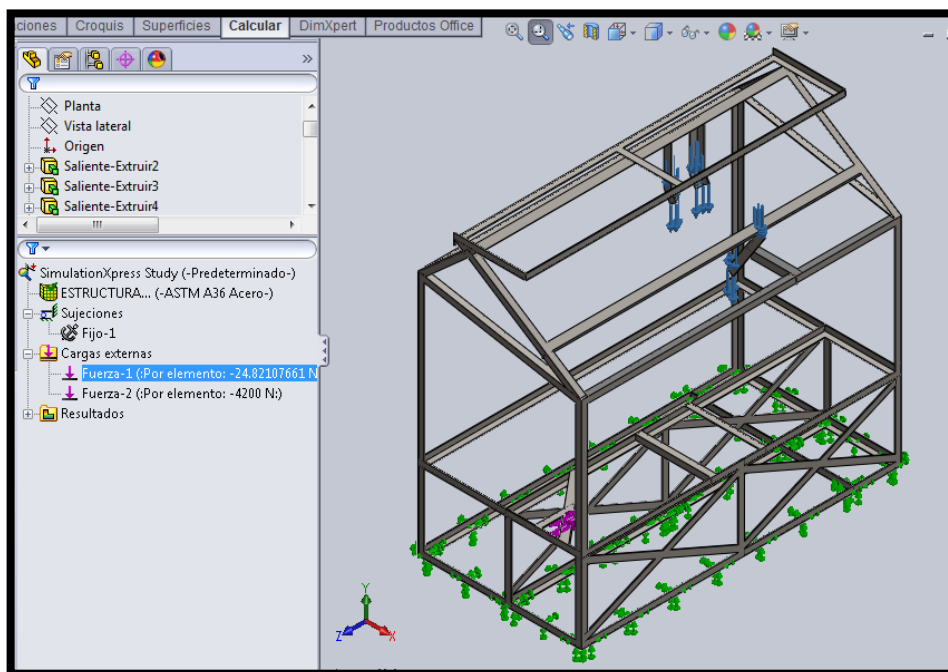


Figura 4.3. Cargas de la estructura
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

c. ELECCIÓN DEL MATERIAL

Se asignó el material Acero ASTM A36 desde la biblioteca de materiales de SolidWorks

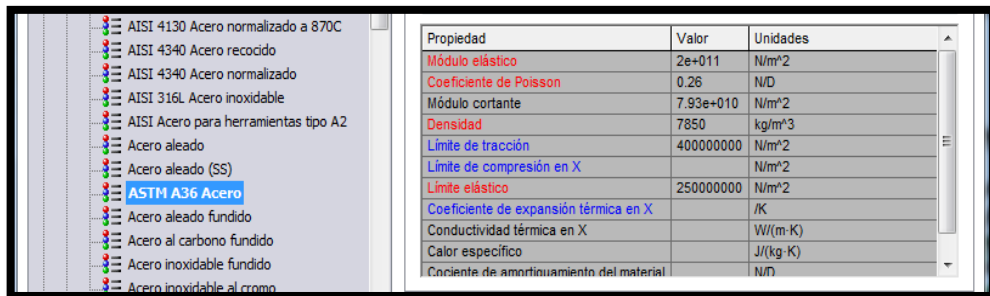


Figura 4.4. Elección del material para la estructura
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

4.1.4. RESULTADOS DEL ESTUDIO

Los resultados que arroja el programa después de ejecutar el estudio son:

- Tensión de Von Mises (VON)
- Desplazamiento resultante (URES)
- Deformación unitaria equivalente (ESTRN)
- Factor de seguridad (FDS)

Tabla 4.1. Resultados del estudio de la estructura

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	5.21999e-005 N/mm ² (MPa) Nodo: 8628	147.23 N/mm ² (MPa) Nodo: 6239
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 6	0.326383 mm Nodo: 704
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.58359e-010 Elemento: 186	0.000342423 Elemento: 4747
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	1.75435 Nodo: 30028	2.81812e+008 Nodo: 15145

Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

a. TENSIÓN DE VON MISES (VON)

El criterio de máxima tensión de von Mises se basa en la teoría de Von Mises-Hencky, también conocida como teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima.

En términos de las tensiones principales σ_1 , σ_2 y σ_3 , la tensión de Von Mises se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_{vonMises} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]/2\}^{1/2} \quad \text{Ec. 4.2}$$

La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión del material.

$$\sigma_{vonMises} \geq \sigma_{limit}$$

Ec. 4.3

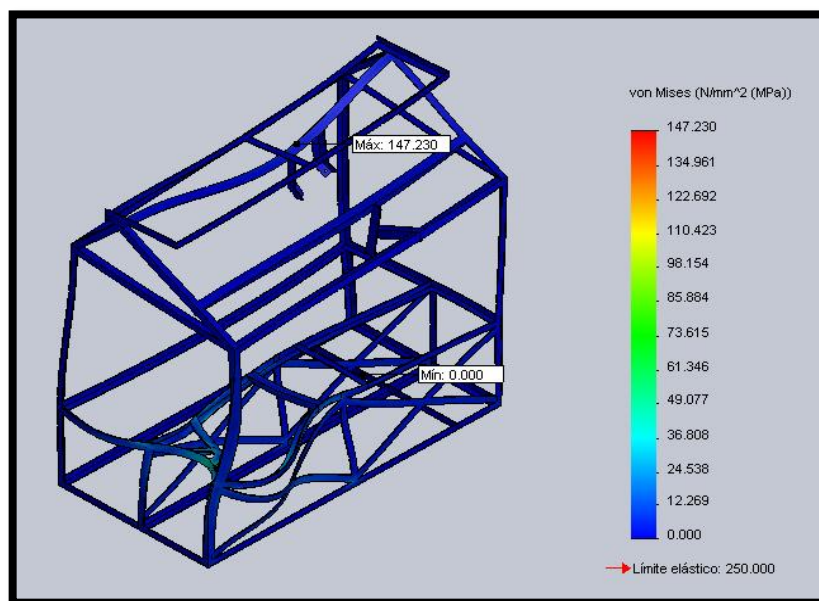


Figura 4.5. Tensión de von Mises (VON) de la estructura
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

b. DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (URES)

La carpeta Desplazamiento, es donde puede trazar componentes de forma modal del pandeo en deformadas o no deformadas:

- UX = Desplazamiento en la dirección X
- UY = Desplazamiento en la dirección Y
- UZ = Desplazamiento en la dirección Z
- URES = Desplazamiento resultante (no utiliza la geometría de referencia).

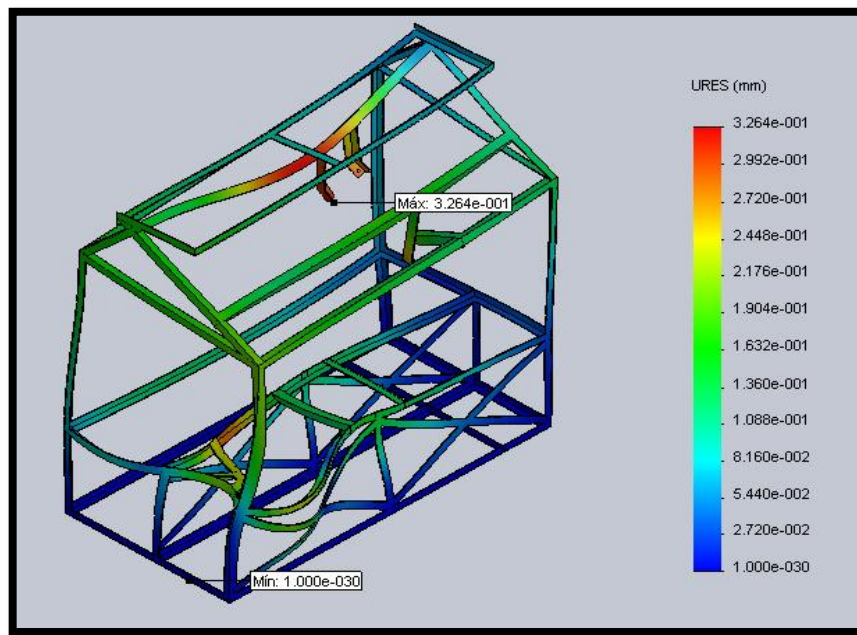


Figura 4.6. Desplazamiento resultante (URES) de la estructura
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

c. DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE (ESTRN)

Se define como el cambio de longitud por unidad de longitud de la misma magnitud.

$$\varepsilon = \frac{\Delta s}{s} = \frac{s' - s}{s} \quad \text{Ec. 4.4.}$$

Dónde:

s: longitud inicial de la zona en estudio

s': longitud final o deformada.

En la Mecánica de sólidos deformables la deformación puede tener lugar según diversos modos y en diversas direcciones, y puede además provocar distorsiones en la forma del cuerpo, la deformación de un cuerpo se puede caracterizar por un tensor de la forma:

$$[D] = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{pmatrix} \quad \text{Ec. 4.5.}$$

Donde cada una de las componentes de la matriz anterior, llamada tensor deformación representa una función definida sobre las coordenadas del cuerpo que se obtiene como combinación de derivadas del campo de desplazamientos de los puntos del cuerpo.

En Solid Works la carpeta deformación, es donde se puede trazar formas modales deformadas (sin contornos). El factor de carga crítica correspondiente del modo de pandeo trazado, se muestra en el trazado.

Los valores de desplazamiento se calculan según diversos procedimientos de normalización que realiza el software.

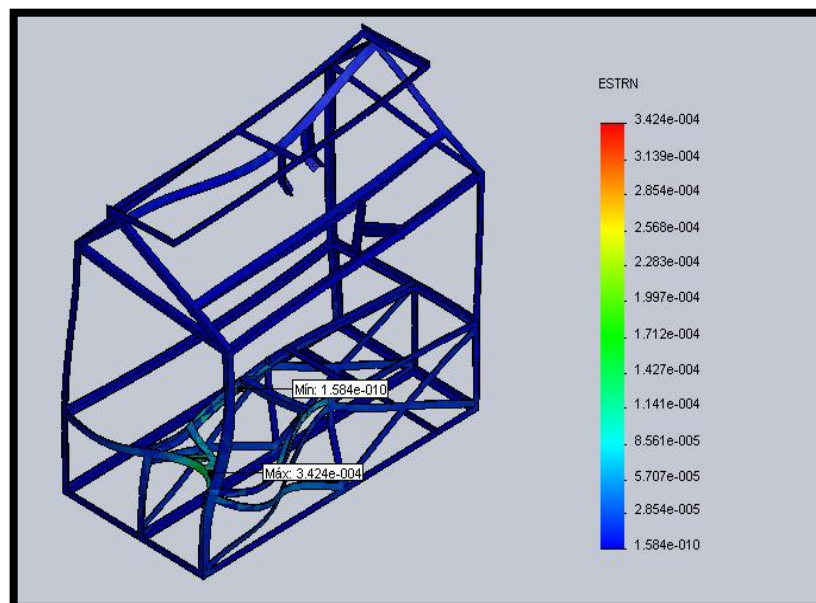


Figura 4.7. Deformación unitaria equivalente (ESTRN) de la estructura
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

d. FACTOR DE SEGURIDAD (FDS)

El factor de seguridad en una ubicación se calcula a partir de:

$$\text{Factor de Seguridad (FDS)} = \frac{\text{Limite de tensión del material}}{\text{Tensión de Von Mises}} = \frac{\sigma_{\text{limite}}}{\sigma_{\text{VonMises}}} \quad \text{Ec. 4.6.}$$

Solid Works en la mayoría de los casos, utiliza el límite elástico como el límite de tensión. Sin embargo, el software le permite utilizar el límite de tensión de tracción/ruptura o establecer su propio límite de tensión.

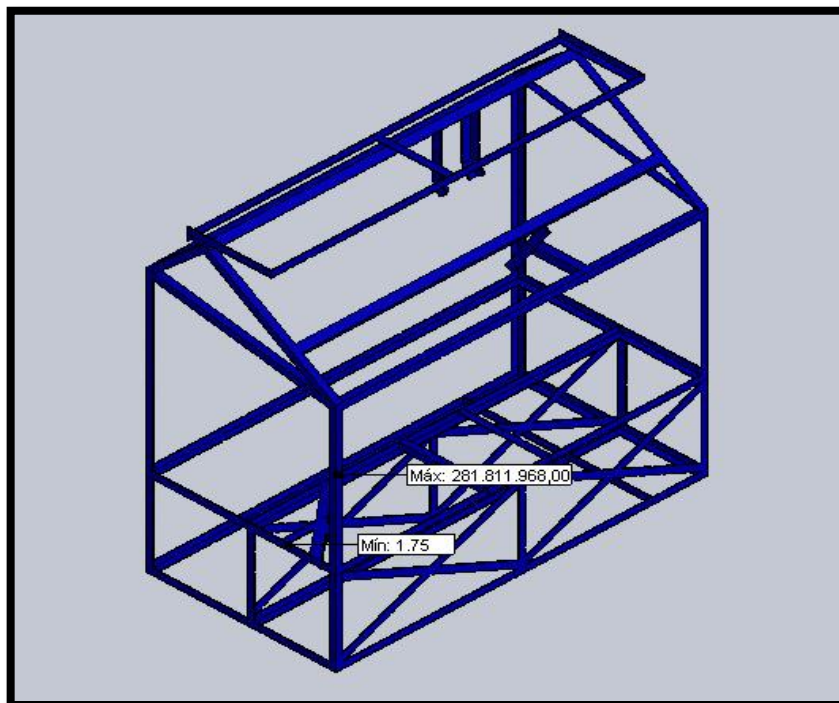


Figura 4.8. Factor de seguridad de la estructura
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

En el diseño realizado se obtuvo un factor de seguridad (FDS) mínimo de 1.75, el cual se encuentra donde se aplica el mayor esfuerzo producido por la fuerza que realiza la cremallera, pero debido a que esta fuerza no estará ejercida permanentemente se puede determinar que todos los parámetros de diseño están dentro del rango normal y que por lo tanto la estructura esta apta para la construcción.

4.2. DISEÑO DEL FRENO DE LA DIRECCIÓN

Para que se pueda apreciar el esfuerzo que se hace en el volante de dirección cuando se pierde la asistencia del motor eléctrico, se utilizó los componentes del freno de una motocicleta que consisten en de una mordaza y de dos pastillas circulares, que técnicamente toma el nombre de freno de yugo de zapata circular.

Se diseñó un disco de freno el cual consta de una saliente que lo permite ensamblarse con una U soldada al terminal de la cremallera.

4.2.1. PARÁMETROS DEL DISEÑO DEL FRENO

- **Resistencia:** Que soporte la fuerza ejercida por la cremallera
- **Distorsión:** Que no se deforme el perno eje del disco ni el perno que presiona el pistón que actuará sobre la pastilla para frenar el disco.
- **Costo:** Que sea económico sin que esto afecte la seguridad del diseño.
- **Fricción:** Que no sea muy excesiva que no permita el giro del disco, ni muy poca que permita el libre giro del disco.

4.2.2. CROQUIS EN 3D DE LAS PARTES DEL FRENO DE LA DIRECCIÓN

A continuación se ven las partes dibujadas en SolidWorks del freno de motocicleta que se adquirió y del disco de freno que se diseñó.

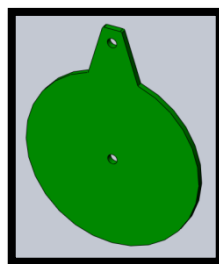


Figura 4.9. Disco de freno
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

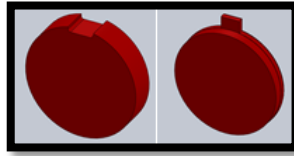


Figura 4.10. Pastillas de freno
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

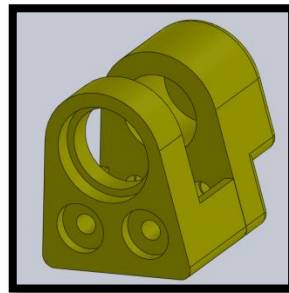


Figura 4.11. Mordaza
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

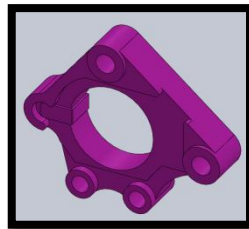


Figura 4.12. Alojamiento de pastilla
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

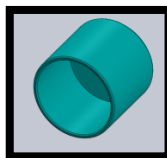


Figura 4.13. Pistón
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

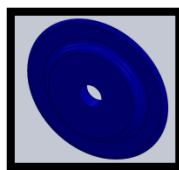


Figura 4.14. Tapa de pastilla
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

4.2.3. ENSAMBLAJE DEL FRENO

Se realizó un ensamblaje en SolidWorks de todos los componentes del freno y el perfil de la estructura donde va a ir montado, para posteriormente realizar un estudio en Simulation.

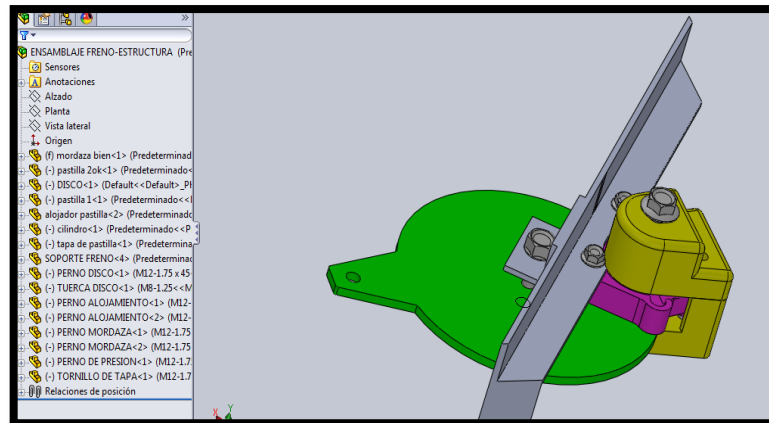


Figura 4.15. Ensamblaje de freno
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

4.2.4. CÁLCULOS DEL FRENO

Para poder definir las cargas que se va aplicar al freno se realizaron los siguientes cálculos:

a. GEOMETRÍA DEL FRENO DE YUGO DE ZAPATA CIRCULAR

En la figura 4.16 se muestra la geometría del freno de yugo de zapata circular el cual se utilizó para trabar el movimiento de la dirección.

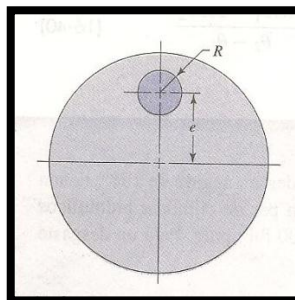


Figura 4.16. Geometría del freno de yugo de zapata circular
Fuente: Budynas G. y Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

b. FUERZA NORMAL EN EL NEUMÁTICO

$$N = m \times g \quad \text{Ec. 4.7}$$

Dónde:

$N = \text{Fuerza normal [N]}$

$m = \text{masa del vehiculo distribuida en unneumatico [kg]}$

$g = \text{gravedad [m/s}^2\text{]}$

La masa del vehículo Hyundai Accent es de 1300 kg por lo que en cada neumático se distribuye 325 kg

$$N = 325 \times 9.8$$

$$N = 3185 \text{ N}$$

c. FUERZA DEL FRENO

Para el diseño del freno se determinó que esta fuerza debe ser igual a la fuerza de fricción que existe entre el neumático y el pavimento

$$F = N \times \mu \quad \text{Ec. 4.8}$$

Dónde:

$F = \text{Fuerza de friccion neumatico – pavimento [N]}$

$N = \text{Fuerza normal [N]}$

$\mu = \text{Coeficiente de friccion neumatico – pavimento}$

$$F = 3185 \times 0,55$$

$$F = 1751,75 \text{ N}$$

d. PARÁMETROS DE UN FRENO DE YUGO DE ZAPATA CIRCULAR

$$\frac{R}{e} = \frac{0,0215m}{0,1605m} = 0,134 \quad \text{Ec. 4.9.}$$

Tabla 4.2. Parámetros de un freno de yugo de zapata circular

R/e	δ
0,1	0,983
0,134	?
0,2	0,969

Fuente: Budynas G. y Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley

Mediante interpolación se tiene:

$$\delta = 0,983 + (0,134 - 0,1) \frac{(0,969 - 0,983)}{(0,2 - 0,1)}$$

$$\delta = 0,6817$$

e. RADIO EFECTIVO

$$r_e = \delta e \quad \text{Ec.4.10}$$

$$r_e = 0,6817 \times 0,1605$$

$$r_e = 0,1094 \text{ m}$$

f. PAR DE TORCIÓN DE FRENADO

$$T = f F r_e \quad \text{Ec. 4.11}$$

Dónde:

f = coeficiente de fricción para zapatas de asbesto en frenos de disco

$$T = 0,40 \times 1751,75 \times 0,1094$$

$$T = 76,65 \text{ Nm}$$

g. PRESIÓN PROMEDIO

$$P_{prom} = \frac{F}{\pi R^2} \quad \text{Ec. 4.12}$$

Dónde:

R = Radio de la zapata circular

$$P_{prom} = \frac{1751,75}{3,1416 \times (0,0215)^2}$$

$$P_{prom} = 1206269,42 \text{ Pa}$$

4.2.5. ESTUDIO DE ANÁLISIS ESTÁTICO EN SIMULATION

Debido a que SimulationXpress no permite realizar estudios de ensamblajes, se lo realizó con la opción Simulation

a. SUJECIONES

Se aplicó dos sujeciones en la (cara 1) y (cara 2) para evitar que el sistema se mueva cuando se aplican cargas.

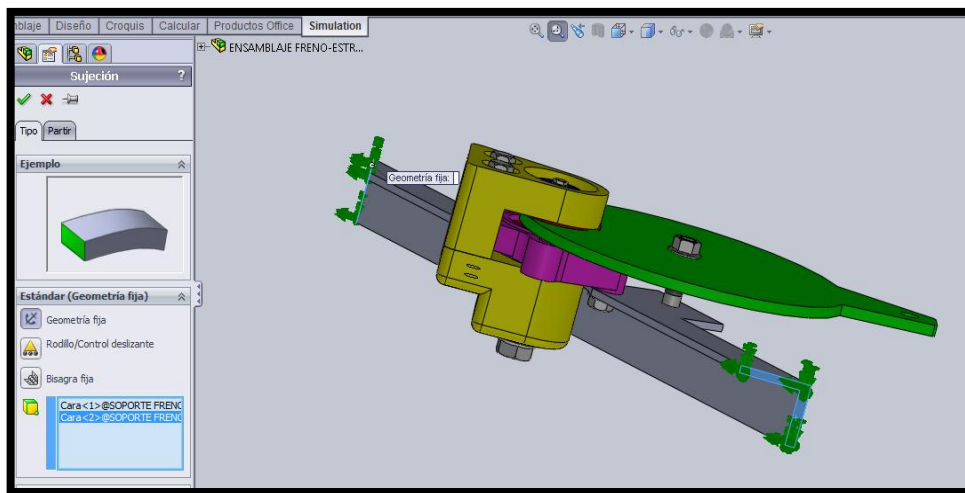


Figura 4.17. Sujeciones del freno
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

b. CARGAS

Al disco de freno se le aplicó una carga de 4200 N, que viene a ser la fuerza que ejerce la cremallera sobre el disco.

Al perno que presiona el pistón se le aplicó una carga de 1751.75 N, que fue calculada anteriormente.

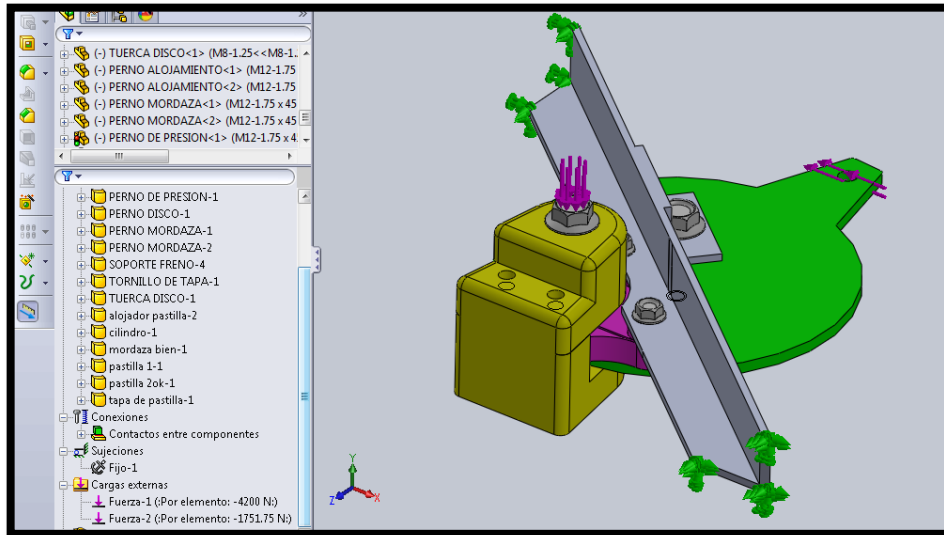


Figura 4.18. Cargas en el disco y el perno que presiona el pistón
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

c. ELECCIÓN DEL MATERIAL

Las pastillas de freno son de asbesto, el disco de freno y los demás componentes del sistema de freno son de acero aleado.

4.2.6. RESULTADOS DEL ESTUDIO

Tabla 4.3. Resultados del estudio del freno

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0 N/mm ² (MPa) Nodo: 19328	1182.56 N/mm ² (MPa) Nodo: 22399
Desplazamientos 1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 16073	4.27402 mm Nodo: 11
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	0 Elemento: 10257	0.0043958 Elemento: 13369

Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

a. TENSIÓN DE VON MISES (VON)

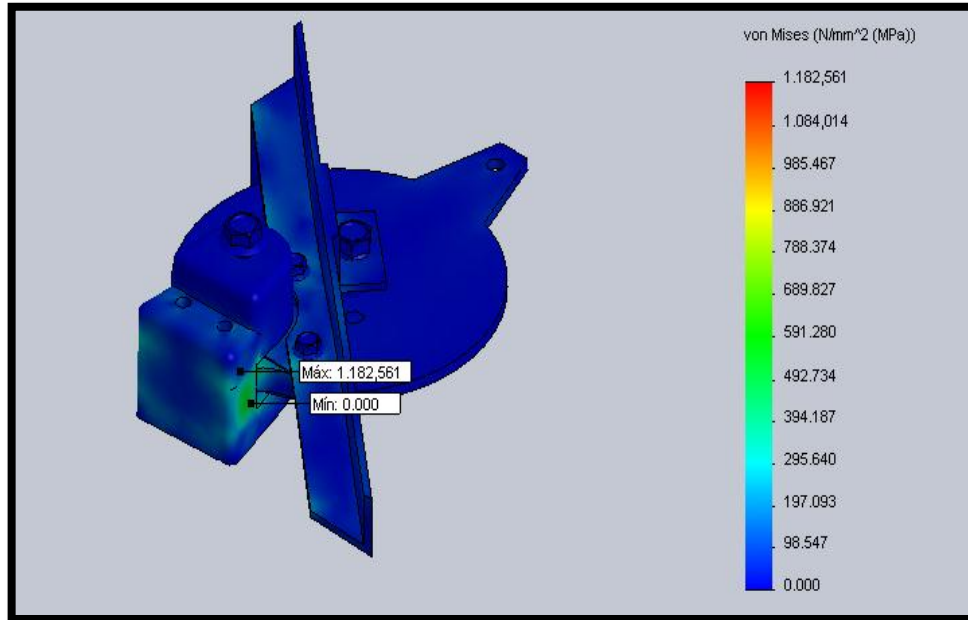


Figura 4.19. Tensión de Von Mises (VON) del freno
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

b. DESPLAZAMIENTO RESULTANTE (URES)

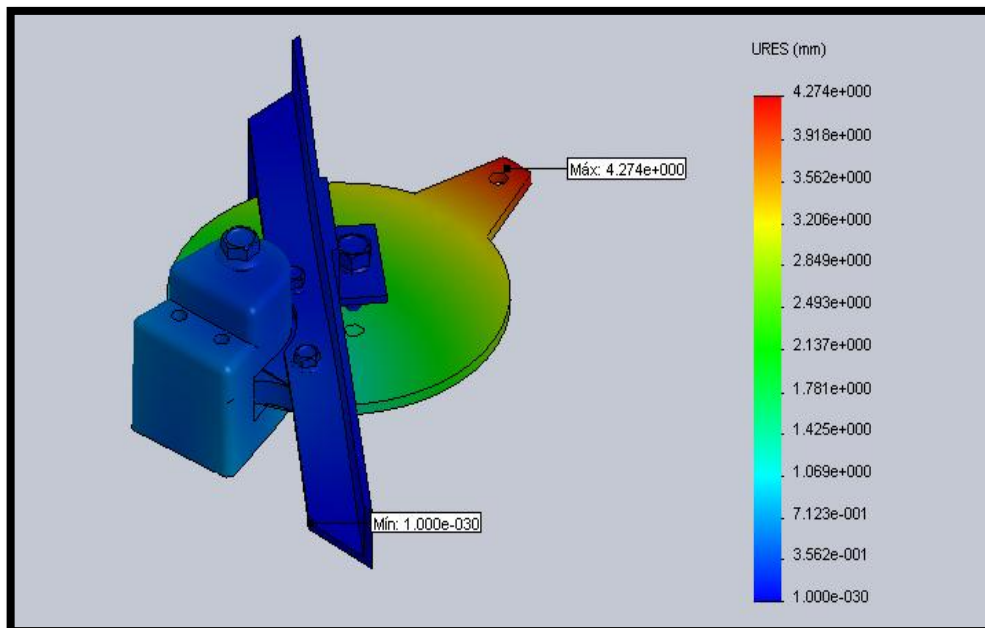


Figura 4.20. Desplazamiento resultante (URES) del freno
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

c. DEFORMACIÓN UNITARIA EQUIVALENTE (ESTRN)

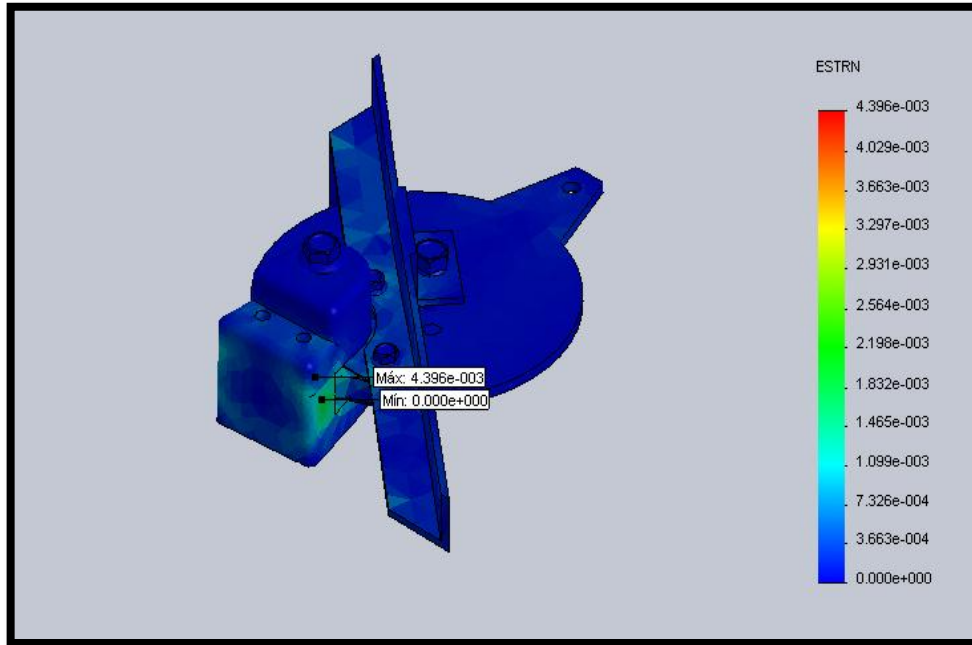


Figura 4.21. Deformación unitaria equivalente (ESTRN) del freno
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

d. FACTOR DE SEGURIDAD (FDS)

El factor de seguridad en una ubicación se calcula a partir de:

$$\text{Factor de Seguridad (FDS)} = \frac{\text{Limite de tensión del material}}{\text{Tensión de Von Mises}} = \frac{\sigma_{\text{limite}}}{\sigma_{\text{VonMises}}} \quad \text{Ec. 4.13}$$

Solid Works en la mayoría de los casos, utiliza el límite elástico como el límite de tensión. Sin embargo, el software le permite utilizar el límite de tensión de tracción/ruptura o establecer su propio límite de tensión.

Reemplazando los valores del límite de tensión del material y la tensión obtenida de Von Mises, el cálculo del factor de seguridad para el freno de la dirección es:

$$\text{Factor de Seguridad (FDS)} = \frac{\text{Limite de tensión del material}}{\text{Tensión de Von Mises}} = \frac{6204.220}{1182.561}$$

Factor de Seguridad (FDS)del freno = 5.2464

En el diseño realizado se obtuvo un factor de seguridad (FDS) mínimo de 5.2464, el cual se encuentra donde se aplica el mayor esfuerzo producido por la fuerza que realiza la cremallera, por lo tanto el freno está apto para la construcción.

4.3. ENSAMBLAJE GENERAL

Una vez diseñada la estructura y el freno, se procedió a dibujar los componentes del sistema de dirección electromecánica del vehículo Hyundai Accent para realizar un ensamblaje en el programa y determinar la ubicación de los mismos como se observa en la Figura 4.22 la cual está en una perspectiva isométrica frontal

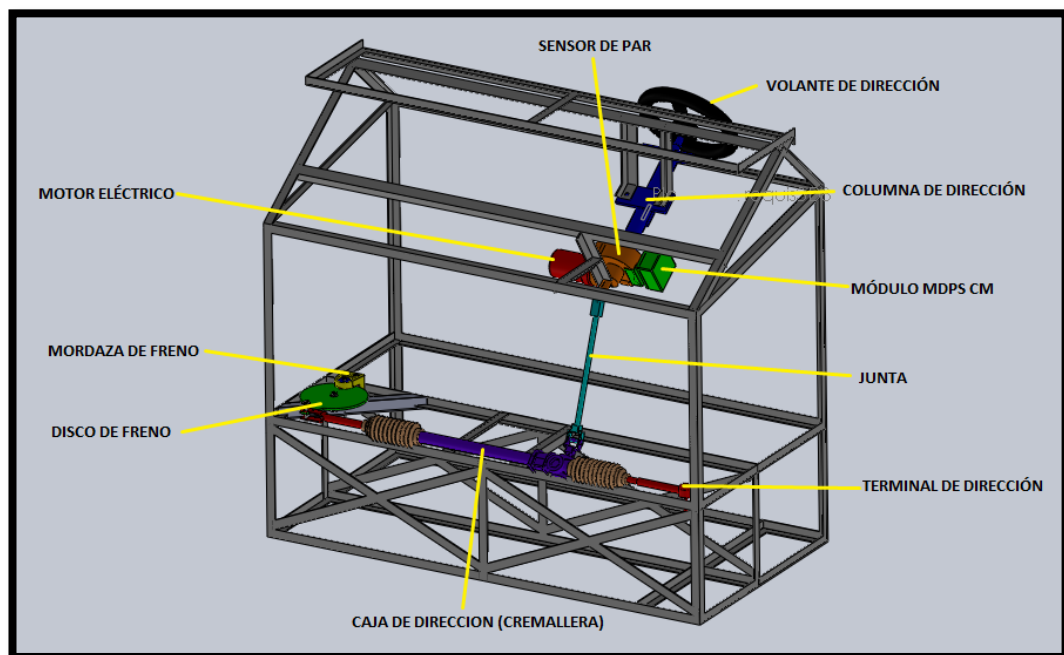


Figura 4.22. Ensamblaje general del banco didáctico
Fuente: Los Autores (SolidWorks 2011)

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO

5.1. CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Para la estructura del banco didáctico se escogió perfiles en L de acero ASTM A36 de 25x25x3 mm para las partes donde no se va a realizar mucho esfuerzo y 30x30x4 mm donde va soportar las cargas del sistema de dirección.

5.1.1. CORTE Y LIMADO

Se procedió hacer el trazado de cada una de los perfiles conforme a las dimensiones del diseño.



Figura 5.1. Trazado de los perfiles
Fuente: Los Autores

Hecho el trazado se procedió hacer el corte de los perfiles con una moladora.



Figura 5.2. Corte de los perfiles
Fuente: Los Autores

5.1.2. PROCESOS DE SOLDADURA

Se empezó soldando la base de la estructura mediante el proceso de soldadura SMAW, el cual es un proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido. El revestimiento del electrodo forma una atmósfera protectora y también se deposita en forma de una escoria de tipo refractaria sobre la superficie del cordón de soldadura.

El electrodo que se utilizó es AWS E6011 el cual tiene un tipo de revestimiento celulósico potásico.



Figura 5.3. Soldadura de los perfiles
Fuente: Los Autores

El amperaje con el que se realizó la soldadura es de 150 Amperios ya que nuestros perfiles tienen un espesor de 3 y 4 mm.



Figura 5.4. Soldadura de los perfiles de base
Fuente: Los Autores

Una vez terminado de soldar la base, soldamos los parantes de la estructura con las medidas respectivas.



Figura 5.5. Soldadura de los parantes de la estructura
Fuente: Los Autores

De igual manera se fue realizando las medidas para los perfiles transversales y soldando a la altura donde va a estar colocada la cremallera.



Figura 5.6. Soldadura de los perfiles transversales
Fuente: Los Autores

Se tomó el ángulo de 42° para soldar los perfiles inclinados para nuestro tablero de control y se procedió a soldar.



Figura 5.7. Soldadura de los perfiles del tablero de control
Fuente: Los Autores

El ángulo para la parte posterior fue de 33° y soldamos con los parantes principales.



Figura 5.8. Soldadura de los perfiles inclinados posteriores
Fuente: Los Autores

En la parte superior se soldó los perfiles que harán como mesa para colocar la computadora u otro objeto.



Figura 5.9. Soldadura de los perfiles que servirán como mesa
Fuente: Los Autores

5.2. CONSTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SOPORTE

Para los elementos de soporte se utilizó el perfil en L de 30x30x4 mm.

5.2.1. CORTE Y LIMADO

Para sujetar la columna de dirección se requirió hacer dos soportes para la parte superior de la misma y uno para la parte inferior cortando los perfiles de acuerdo a las medidas especificadas en el diseño.

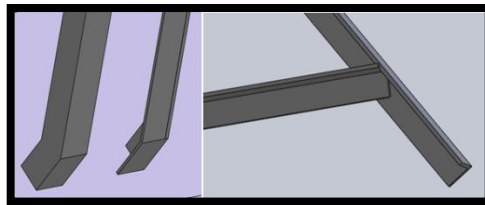


Figura 5.10. Diseño de los perfiles de soporte de la columna en SolidWorks
Fuente: Los Autores

Para sujetar la caja de la cremallera se requirió hacer dos soportes para soldarlos transversalmente a la estructura.

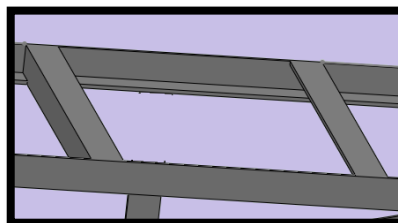


Figura 5.11. Diseño de los perfiles de soporte de la caja de dirección en SolidWorks
Fuente: Los Autores

Para sostener la caja de la cremallera se construyó dos abrazaderas hechas con platina de 25x3 mm.

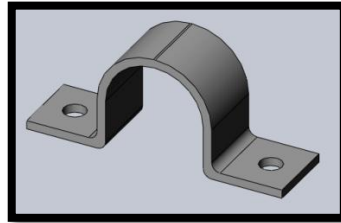


Figura 5.12. Diseño de las abrazaderas de la caja de dirección en SolidWorks
Fuente: Los Autores

Para montar la mordaza de freno se construyó un soporte hecho con perfil L de 30x30x4 mm de acuerdo a las medidas del diseño.

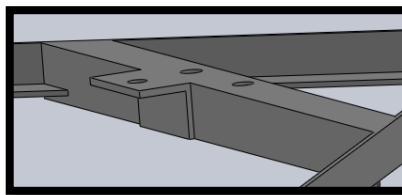


Figura 5.13. Diseño de los perfiles de soporte del freno de disco
Fuente: Los Autores

Para conectar el disco de freno con el terminal de la dirección se cortó una parte del terminal y se construyó una conexión tipo U para soldarla al eje del terminal

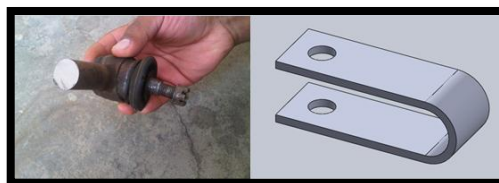


Figura 5.14. Diseño de una conexión para el terminal en SolidWorks
Fuente: Los Autores

5.2.2. PROCESOS DE SOLDADURA

Se soldó los dos perfiles superiores que sujetan la columna de dirección como se mira en la Figura 5.15.



Figura 5.15. Soldadura de los soporte de la columna de dirección
Fuente: Los Autores

Se soldó los perfiles transversales para sujetar la caja de cremallera como se observa en la Figura 5.16.



Figura 5.16. Soldadura de los soportes de la caja de dirección
Fuente: Los Autores

Se construyó las abrazaderas que sujetaran la caja de dirección como se observa en la Figura 5.17.



Figura 5.17. Construcción de las abrazaderas de la caja de dirección
Fuente: Los Autores

Se soldó los perfiles para sujetar la mordaza del freno y uno para eje del disco como se observa en la Figura 5.18.



Figura 5.18. Soldadura de los soportes del freno de disco
Fuente: Los Autores

Se soldó la conexión tipo U al terminal de dirección como lo indica la Figura 5.19.



Figura 5.19. Soldadura de la conexión al terminal de dirección
Fuente: Los Autores

5.3. ACABADOS

Se procedió a pintar la estructura para evitar que se corroa o se oxide con el paso del tiempo



Figura 5.20. Pintado
Fuente: Los Autores



Figura 5.21. Acabado
Fuente: Los Autores

5.4. CONSTRUCCIÓN DE LAS PLACAS ELECTRÓNICAS

Se imprimió en una hoja térmica a escala real, el circuito debidamente ruteado y organizado en el programa Ares, que es una herramienta de Isis Proteus.

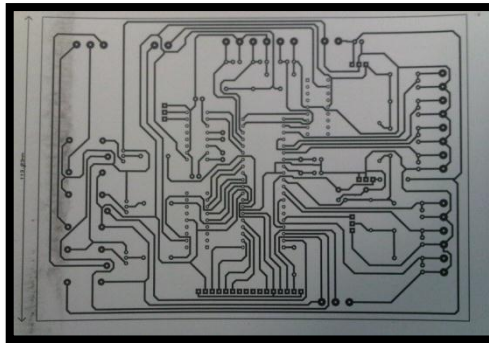


Figura 5.22. Impresión del circuito en la hoja térmica
Fuente: Los Autores

Se procedió a cortar la baquelita con ayuda de una sierra a la medida del circuito.



Figura 5.23. Corte de la baquelita
Fuente: Los Autores

Se pulió la baquelita con una lija fina para que las líneas ruteadas del circuito compacten mejor con el cobre de la baquelita.



Figura 5.24. Pulido de la baquelita
Fuente: Los Autores

Sobre la baquelita se colocó la hoja térmica y sobre esta una hoja de papel bond sobre la cual se va a planchar.

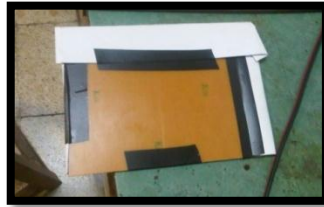


Figura 5.25. Colocación de la hoja térmica en la baquelita
Fuente: Los Autores

Se colocó un trapo húmedo sobre la hoja de papel bond y se procedió a planchar durante varios minutos, para que por medio del calor se copie en la baquelita el circuito del papel térmico.



Figura 5.26. Planchado de la baquelita
Fuente: Los Autores

Se retiró el papel térmico de la baquelita y se observa que el circuito se encuentra copiado.

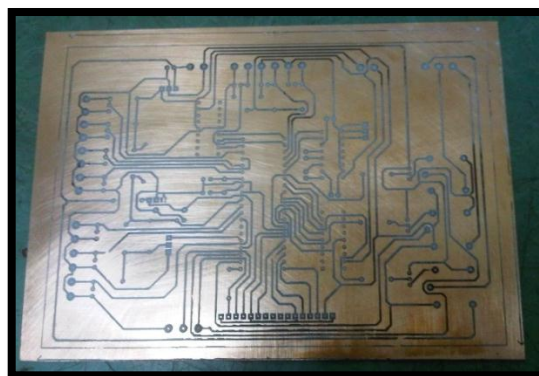


Figura 5.27. Circuito copiado en la baquelita
Fuente: Los Autores

Se colocó dos fundas de ácido y agua caliente en un recipiente, en el cual se introdujo la baquelita, para que en las partes no ruteadas se desprenda el cobre.



Figura 5.28. Baquelita en recipiente con ácido
Fuente: Los Autores

En la Figura 5.29.se observa como quedó impreso el circuito en la baquelita

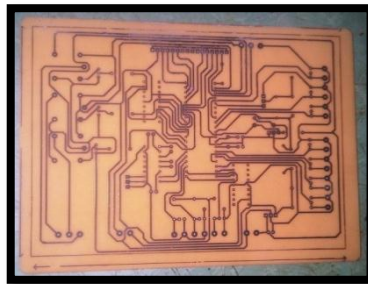


Figura 5.29. Circuito impreso en la baquelita
Fuente: Los Autores

Se volvió a lijar nuevamente las líneas ruteadas del circuito

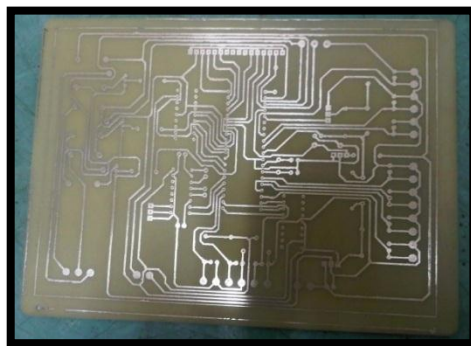


Figura 5.30. Pulida de las líneas ruteadas del circuito
Fuente: Los Autores

Con la ayuda de un taladro y una broca 3/16 se procedió hacer los orificios donde van a soldarse los componentes electrónicos.

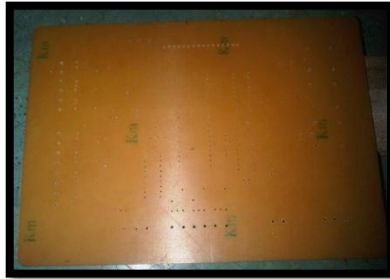


Figura 5.31. Perforación de los orificios de los componentes electrónicos
Fuente: Los Autores

El mismo procedimiento se realizó para la construcción de la placa electrónica del motor eléctrico. Una vez hechos los orificios se colocaron los componentes electrónicos tanto en la placa electrónica principal como en la placa del motor eléctrico como se aprecian en las Figuras 5.32 y 5.33.

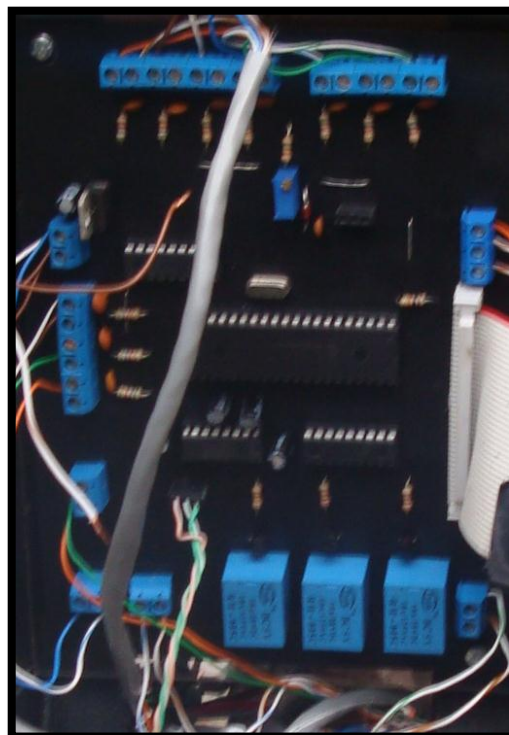


Figura 5.32. Placa electrónica principal finalizada
Fuente: Los Autores

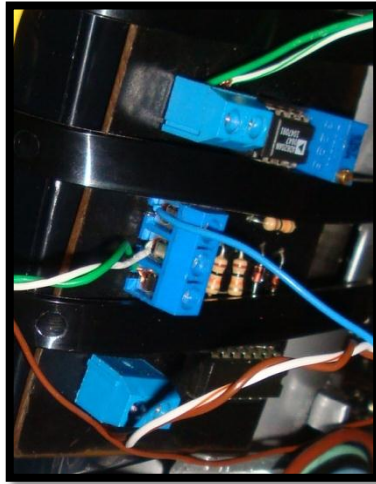


Figura 5.33. Placa electrónica del motor eléctrico finalizada
Fuente: Los Autores

5.5. ENSAMBLAJE

5.5.1. PARTES MECÁNICAS

Se colocó una mordaza de freno de una motocicleta, la cual frena a un disco de acero de 5 mm de espesor que va acoplado al terminal de la dirección.



Figura 5.34. Ensamblaje del freno
Fuente: Los Autores

Se adaptó una caja de dirección mecánica de cremallera de un automóvil con su respectiva junta hacia la columna de dirección del Hyundai Accent.



Figura 5.35. Ensamblaje de la caja de dirección
Fuente: Los Autores

5.5.2. PARTES ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS

Se montó la placa electrónica principal sobre los soportes de la columna.

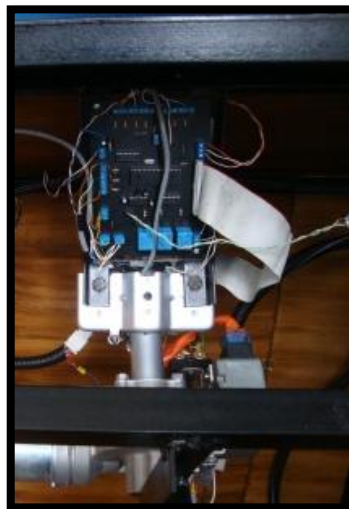


Figura 5.36. Montaje de la placa electrónica principal
Fuente: Los Autores

Se montó la batería de 1.3 Amperios y la placa electrónica del motor eléctrico en la parte inferior de la columna, aseguradas con amarras plásticas.



Figura 5.37. Montaje de la batería de 1.3 A y de la placa del motor eléctrico
Fuente: Los Autores

Para tomar la corriente del motor eléctrico se utilizó un shunt de 50 mV y 100A el cual va conectado en serie entre el módulo MDPS y el motor eléctrico.

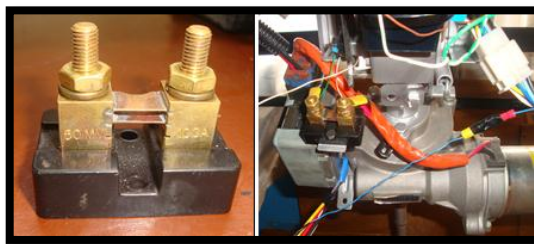


Figura 5.38. Montaje del shunt
Fuente: Los Autores

Se colocó fusibles de protección para el módulo MDPS, placa electrónica, motor eléctrico, de 10A, 2A, y 60A, respectivamente así como el interruptor para el encendido principal del banco didáctico por medio de un relé de 70 Amperios.



Figura 5.39. Montaje de fusibles
Fuente: Los Autores

Se colocó un switch de encendido bajo llave, el cual acciona un relé de 50 A para el encendido del sistema MDPS, además se colocaron los pulsadores para la activación de sensores, jacks bananas para los puntos de comprobación del banco y una lámpara indicadora de fallas.

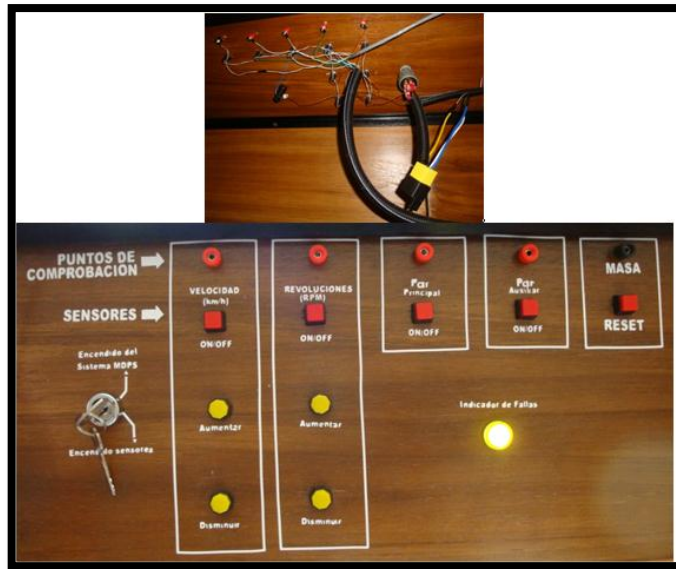


Figura 5.40. Montaje de los botones de control
Fuente: Los Autores

Se colocó un LCD de 16x2 para visualizar la variación de velocidad, rpm y la desactivación de las señales del sensor de par.



Figura 5.41. Montaje del LCD
Fuente: Los Autores

Se colocó un conector R232 hembra para la comunicación serial a un ordenador



Figura 5.42. Montaje del conector a PC
Fuente: Los Autores

Se acopló al estriado de la columna de dirección un volante de la marca Hyundai, y en la Figura 5.43 se puede apreciar la apariencia final del banco didáctico de dirección electromecánica del vehículo Hyundai Accent 2008.



Figura 5.43. Apariencia final del banco didáctico
Fuente: Los Autores

CAPÍTULO VI

FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS DEL BANCO DIDÁCTICO

6.1. PRUEBAS Y COMPROBACIONES SIN EL USO DE UN ORDENADOR

En el caso de que no se disponga de un ordenador se pueden realizar algunas pruebas las cuales se describen a continuación

6.1.1. SENSIBILIDAD DEL VOLANTE AL VARIAR LA CONEXIÓN Y DESCONEJÓN DE SENSORES

En la Tabla 6.1 se describe como varia la asistencia del sistema al desconectar y reconectar las señales de los sensores del sistema.

Tabla 6.1. Sensibilidad del volante al variar la conexión y desconexión de sensores

CONDICIÓN	CONECTADO		DESCONECTADO		INDICADOR DE FALLA		RECONNECTADO	
	ASISTENCIA		ASISTENCIA		ON	OFF	ASISTENCIA	
	SI	NO	SI	NO			SI	NO
VELOCIDAD	X		X			X	X	
RPM	X			X	X		X	
PAR PRINCIPAL	X			X	X			X
PAR AUXILIAR	X			X	X			X

Fuente: Los Autores

NOTA: Para recuperar la asistencia cuando se desconecta las señales del sensor de par, pulsar el botón Reset.

6.1.2. COMPROBACIÓN DE LA ASISTENCIA AL VARIAR LA VELOCIDAD DEL VEHÍCULO Y LA VELOCIDAD DEL MOTOR

En la Tabla 6.2 se describe como varía la asistencia del sistema al aumentar y disminuir las señales de velocidad del vehículo y revoluciones del motor:

Tabla 6.2. Comprobación de la asistencia al variar la velocidad del vehículo y la velocidad del motor

PRUEBA	CONDICIONES		DIFICULTAD PARA GIRAR EL VOLANTE			OBSERVACIONES
	Km/h	RPM	Mínimo	Medio	Máximo	
1	0	700	X			Con el vehículo detenido y el motor a ralentí se obtiene la asistencia máxima
2	100	700		X		Al aumentar la velocidad disminuye la asistencia
3	200	700			X	La asistencia es mínima
4	0	7000	X			La asistencia aumenta notablemente acelerando al máximo con el vehículo detenido
5	100	7000		X		La asistencia es reducida al aumentar la velocidad y acelerando al máximo
6	200	7000		X		La asistencia es similar a la anterior

Fuente: Los Autores

6.1.3. SIMULACIÓN DE FALLAS Y COMPROBACIONES DEL SISTEMA MDPS

Con el objetivo de que el estudiante pueda resolver una falla del sistema se procederá a simular los códigos de fallas posibles y la forma de comprobarlos. Se especificará en cada tabla las condiciones para que se simule la falla.

Tabla 6.3. Fallas del sistema MDPS

DTC		Fallo estándar
Sensor de par	C1290	Fallo de señal principal del sensor de par
	C1291	Fallo de señal auxiliar del sensor de par
	C1292	Fallo de diferencia de señal de sensor de par entre principal y auxiliar
	C1112	Fallo de voltaje de suministro de sensor de par
Velocidad del vehículo	C1212	Fallo de señal del sensor de velocidad del vehículo
Velocidad del motor	C1272	Fallo de señal del sensor de velocidad del motor
Motor	C2412	Fallo de voltaje de terminal del motor
	C2413	Fallo de corriente de motor (en caso de que se esté en el modo de exceso de corriente)
	C2414	Fallo de corriente de motor
	C2415	Fallo de corriente de motor
Voltaje	C1101	Fallo de voltaje de la batería
	C1102	Fallo de voltaje de la batería
Unidad de control	C1704	Relé de seguridad ante fallo atascado
	C1604	Fallo de voltaje de salida de suministro
		Fallo de control I/F de voltaje de terminal del motor
		Fallo de ASIC
		Fallo de voltaje I/F del sensor de par
	Fallo de termistor	

Fuente: Los Autores

a. SIMULACIÓN DE FALLAS DEL SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO

- **C1212 Vehicle speed signal failed (Fallo de señal del sensor de velocidad del vehículo)**

Esta falla es detectada por la EPSCM si la velocidad del vehículo es 0km/h cuando la velocidad motor es superior a 2500 rpm o más por 20 segundos. Si el motor del vehículo está únicamente encendido pero sin dar marcha, la EPSCM interpreta la falla y espera las siguientes condiciones para iniciar el control de fallas.

Velocidad del vehículo= 0km/h, régimen del motor >4,000rpm por 5 minutos

Control de falla segura: El motor de asistencia es controlado como si el vehículo estuviera a 255km/h, relé de asistencia encendido, luz de advertencia apagada.

Esto se restaura si la velocidad del vehículo es mayor a 5km/h o si el sistema de alimentación es reiniciado.

Tabla 6.4. Simulación de FallaC1212

CONDICIONES DE FALLA		INDICADOR DE FALLA		ASISTENCIA		OBSERVACIÓN	RESTAURACIÓN
		ON	OFF	SI	NO		
RPM >4000 Km/h = 0	Tiempo > 5 min		X	X		La dirección se vuelve más dura debido a que la asistencia es controlada como si el vehículo estuviera a 255 Km/h	Km/h > 5 o presionando el botón Reset

Fuente: Los Autores



Figura 6.1. Condiciones para Falla C1212

Fuente: Los Autores

b. SIMULACIÓN DE FALLAS DEL SENSOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR

- **C1272 Engine Speed signal failed (Señal de velocidad del motor falló).**

Esta falla es detectada si el motor está a un régimen menor de 330rpm cuando la velocidad del vehículo es mayor a 50km/h por 20 segundos o si se pierde por completo la señal de velocidad del motor.

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia encendido (Razón por la cual si la señal vuelve el sistema se restaura sin necesidad de apagar el vehículo), luz de advertencia encendida.

Esto se restaura si la velocidad del motor es superior a 525 rpm o la alimentación del sistema se cortara.

Tabla 6.5.Simulación deFalla C1272

CONDICIONES DE FALLA		INDICADOR DE FALLA		ASISTENCIA		OBSERVACIÓN	RESTAURACIÓN
		ON	OFF	SI	NO		
RPM <330	Tiempo >20 seg					Falta de concordancia de la señal de rpm del motor	RPM > 525 o presionando el botón Reset
Km/h > 50		X			X		

Fuente: Los Autores

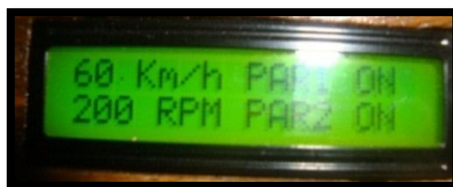


Figura 6.2. Condición de Falla C1272
Fuente: Los Autores

c. SIMULACIÓN DE FALLAS DEL SENSOR DE PAR

- **C1290 Torque sensor min failed (Fallo de señal principal del sensor de par)**

Esta falla es detectada si la salida de voltaje de la señal principal es mayor a 4,6 V o menor a 0,4 V.

Control de falla segura; Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia apagado, Luz de advertencia encendida.

Para simular esta falla simplemente desconectamos la señal principal del sensor de par por lo que va tener un voltaje menor a 0.4 V y hacemos usos de los puntos de comprobación para comprobar el voltaje.

Tabla 6.6. Simulación de Falla C1290

Condición de falla		Simulación de falla	Indicador de falla		Asistencia		Comprobación con falla	Restauración	Comprobación sin falla
			On	Off	Si	No			
Volt >4.6V o <0.4V	Tiempo = instante	Desconectar señal principal del sensor de par	X			X	Medición tensión en el pin 4 del módulo o en el punto de comprobación del tablero= 0 V	Presionar botón Reset	Medición tensión en el pin 4 del módulo o en el punto de comprobación del tablero= 2.5 V sin girar el volante y 2.5 V a 3.5 V al girar el volante

Fuente: Los Autores



Figura 6.3. Comprobación de Falla C1290

Fuente: Los Autores

- **C1291 Torque sensor sub signal failed (Fallo de señal auxiliar del sensor de par)**

Esta falla es detectada si la salida de voltaje de la señal auxiliar es mayor a 4,6 V o menor a 0,4 V.

Control de falla segura; Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia apagado, Luz de advertencia encendida.

Para simular esta falla simplemente desconectamos la señal auxiliar del sensor de par por lo que va tener un voltaje menor a 0.4 V y hacemos usos de los puntos de comprobación para comprobar el voltaje.

Tabla 6.7. Simulación de Falla C1291

Condiciones de falla		Simulación de falla	Indicador de falla		Asistencia		Comprobación con falla	Restauración	Comprobación sin falla
			On	Off	Si	No			
Volt >4.6V o < 0.4V	Tiempo = instantáneo	Desconectar señal principal del sensor de par	X			x	Medición de tensión en el pin 14 del módulo o en el punto de comprobación del tablero = 0 V	Presionar botón Reset	Medición tensión en el pin 14 del módulo o en el punto de comprobación del tablero= 2.5 V sin girar el volante y 2.5 V a 3.5 V al girar el volante

Fuente: Los Autores



Figura 6.4. Comprobación de Falla C1291

Fuente: Los Autores

- **C1292 Torque sensor Main and Sub signal failed (Fallo de diferencia de señal de sensor de par entre principal y auxiliar)**

Esta falla es detectada si el valor absoluto de (Sensor principal – sensor auxiliar) es mayor a 0.527 V.

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia apagado, luz de advertencia encendido.

Tabla 6.8. Comprobación de Falla C1292

CONDICIONES DE FALLA		COMPROBACIÓN DE FALLA	OBSERVACIONES
(Volt de par principal - Volt par aux) > 0.527 V	Tiempo = instantáneo	Medición en el pin 4 y 14 y sacar la diferencia (2.50 v - 2.44 v = 0.06 V)	El sensor se encuentra en buen estado

Fuente: Los Autores

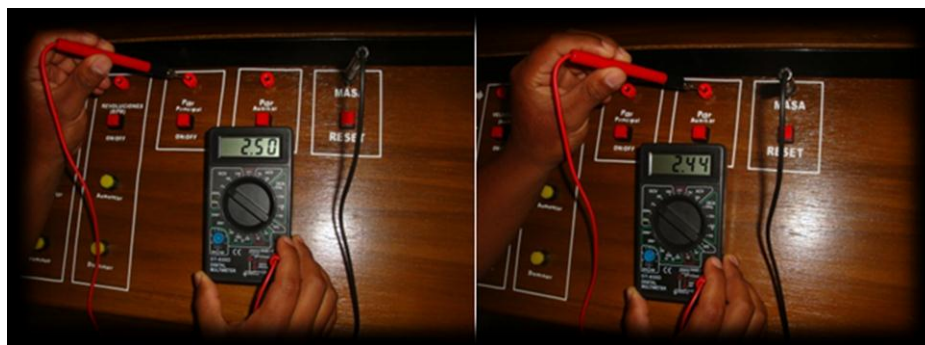


Figura 6.5. Comprobación de Falla C1292

Fuente: Los Autores

- **C1112 Torque sensor Power supply failed (Fallo del voltaje de suministro de par)**

Esta falla es detectada si el voltaje de alimentación del sensor de torque es mayor a 5.7 V o menor a 4.3 V.

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia apagado, luz de advertencia encendido.

Tabla 6.9. Comprobación de Falla C1112

CONDICIONES DE FALLA		COMPROBACIÓN	OBSERVACIONES
Alimentación al sensor > 5.7 V o < 4.3 V	Tiempo = instantáneo	Medición en el pin 3 del módulo MDPS = 5.04 V	El módulo le provee la tensión correcta al sensor

Fuente: Los Autores



Figura 6.6. Comprobación de Falla C1112

Fuente: Los Autores

d. SIMULACIÓN DE FALLAS DEL MOTOR DE ASISTENCIA

- **C2412 Error in the motor voltaje (Fallo de voltaje del terminal del motor)**

Esta falla es detectada cuando el motor no está operando (en reposo) y si el voltaje en uno de sus bornes es superior a 8.5V o <0.2V durante 0.5 segundos: Normalmente esta magnitud debe encontrarse en 1V aproximadamente.

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia apagado, luz de advertencia encendida.

Tabla 6.10. Comprobación de Falla C2412

CONDICIONES DE FALLA		COMPROBACIÓN	OBSERVACIONES
Motor en reposo voltaje en uno de sus bornes > 8.5 V o < 0.2 V	Tiempo > 0.5 seg	Medición de voltaje en uno de sus bornes = 0.99 V	Su voltaje es correcto ya que debe ser aproximadamente 1 V cuando el motor esta en reposo

Fuente: Los Autores

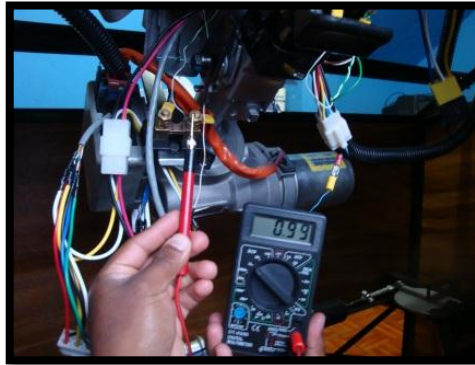


Figura 6.7. Comprobación de Falla C2412
Fuente: Los Autores

- **C2413 Error in the motor current (Fallo de corriente del motor en caso de que este en el modo de exceso de corriente)**

Esta falla es detectada cuando (La corriente de consumo del motor- la corriente objetivo) > 10 A.

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia apagado, luz de advertencia encendida.

Nota: Esta falla no es posible simularla ni comprobarla

- **C2414 Excessive motor current (Fallo de la corriente del motor)**

Esta falla es detectada **cuando la corriente de consumo** del motor de asistencia es mayor a 73 A.

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia apagado, luz de advertencia encendida.

Nota: Esta falla no es posible realizarla pero se puede comprobar la corriente con un multímetro mayor a 20 A, teniendo cuidado de no llegar a los topes de giro que es cuando la corriente supera los 50 A, en las pruebas a realizarse con la computadora se podrá observar la gráfica de consumo de corriente del motor incluso en los topes de giro.

- **C2415 Measured motor current error (Fallo de corriente del motor)** Esta falla es detectada si la medida de corriente del motor es

menor a 2A cuando la corriente objetivo es mayor que 4A por 2.4 segundos o más.

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia apagado, luz de advertencia encendida.

Nota: esta falla no es posible simularla ni comprobarla.

e. COMPROBACIÓN DE LA FUNCIÓN OHP- Over Heat Protection Function (Función de protección de sobrecalentamiento)

El módulo MDPS tiene un relé de seguridad interno que sirve para cortar la alimentación de batería tanto al controlador del motor (Motor Driver) como al microprocesador. El relé de seguridad es activado por medio de un controlador de relé (Relay Driver) que a su vez es controlado por el microprocesador. Esta acción de seguridad se da cuando se gira totalmente la dirección ya sea a la izquierda o a la derecha por más de 30 segundos o cuando se gira la dirección totalmente de un extremo al otro más de 12 veces repetidamente con el vehículo en ralentí ya que en esta condición el motor eléctrico y la EPS CM pueden sufrir averías.

Al producirse esta acción de seguridad (OHP- Over Heat Protection Function) la asistencia a la dirección queda inhabilitada hasta que la temperatura del motor eléctrico vuelva a las condiciones normales.

Tabla 6.11. Simulación de la Función OHP del Motor Eléctrico

Comprobación de las condiciones para que se active la función OHP	Observaciones
Girar totalmente la dirección hacia uno de los topes por más de 30 seg	El sistema de asistencia de bloquea para prevenir un sobrecalentamiento del motor, hasta que su temperatura vuelva a condiciones normales.
Girar la dirección de un extremo al otro por más de 12 veces repetidamente con el vehículo en ralentí (700 RPM y 0 Km/h)	

Fuente: Los Autores

f. SIMULACIÓN DE FALLAS DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA

- **C1101 (Voltaje de suministro excesivo)**

Esta falla es detectada si el voltaje del sistema es superior a 17.5V

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia apagado, luz de advertencia encendida.

El sistema será restaurado cuando el voltaje del sistema descienda a menos de 9V por 5 segundos o más.

Nota: Esta falla se podría simular conectando dos baterías en serie de 12 V, pero no se lo realizó porque se corre el riesgo de quemar el módulo MDPS-CM por lo que este sistema fue diseñado para trabajar con 12 V.

- **C1102 (Nivel de voltaje de suministro bajo)**

Esta falla se detecta si el voltaje del sistema desciende a menos de 9V por 5 segundos o más.

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia apagado, luz de advertencia encendida.

El sistema será restaurado una vez que el voltaje de batería sea superior a 10V.

Nota: esta falla se puede dar cuando se utilice el banco frecuentemente sin recargar la batería. En el vehículo puede darse esta falla si se encuentra en mal estado el alternador por lo que en vehículos que disponen de este sistema es recomendable dar un mantenimiento frecuente al alternador

g. SIMULACIÓN DE FALLAS DEL MÓDULO DE CONTROL

Nota: Ninguna de las siguientes fallas es posible simularlas ya que todas las fallas referentes al módulo deben borrarse con el scanner

- **C1704 Failsafe relay stuck (Relé de seguridad ante fallo atascado)**

Esta falla es detectada si el voltaje de contacto de falla es de 5.5V por 5 segundos.

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, sistema de asistencia apagado, luz de advertencia encendida.

Esto se restaurará cuando el sistema sea apagado.

- **C1604 (MDPS Control module internal failure)**

Este código de avería es detectado en varias circunstancias

Todos estos códigos de diagnóstico podrán ser borrados por el scanner, o si se cumple la siguiente condición: que el sistema sea encendido y apagado sin presentar el código de falla por 60 ciclos o más.

- **Internal `step-up` power supply output voltage. (Fallo de voltaje de suministro)**

Esta falla es detectada cuando el voltaje de suministro es menor que el voltaje de batería por 2 segundos o más.

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, relé encendido, luz de advertencia encendida.

- **Fallo del control I/F de voltaje del terminal del motor**

Esta falla es detectada cuando el terminal del interfaz del motor es mayor a 23V o menor a 3V.

Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, relé encendido, luz de advertencia encendida.

- **ASIC failure (Fallo de ASIC memoria)**
Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, relé apagado, luz de advertencia encendida.

- **Torque sensor interface failure (Fallo de voltaje I/F del sensor de par)**
Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, relé apagado, luz de advertencia encendida.

- **Thermistor failure (Falla de termistor)**
Temperatura detectada > 50° C
Control de falla segura: Motor de asistencia apagado, relé encendido, luz de advertencia encendida.

6.2. PRUEBAS Y COMPROBACIONES CON EL USO DE UN ORDENADOR

Para poder hacer uso del ordenador primeramente se debe instalar el hardware del conector USB serial y el software, siguiendo los pasos que se encuentran en el ANEXO E y ANEXO F.

6.2.1. VISUALIZACIÓN DE LAS GRÁFICAS DEL SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO Y SENSOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR

Cada una de las gráficas dispone de botones similares al del banco didáctico con las cuales podemos conectar y desconectar los sensores y de igual forma aumentar y disminuir los Km/h y rpm y en un recuadro donde se mira la variación de estos valores.

En las gráficas del sensor de velocidad del vehículo y sensor de velocidad del motor se puede apreciar la forma de onda de la señal de estos sensores la cual es una onda cuadrada con una amplitud de 0 a 12V, con

un ciclo de trabajo del 50% que varía su frecuencia dependiendo de la velocidad de marcha del vehículo y la velocidad del motor.

Si se requiere analizar la frecuencia de las ondas a medida que aumenta el régimen de velocidad del motor y del vehículo se procede hacer uso de la escala con respecto al tiempo.

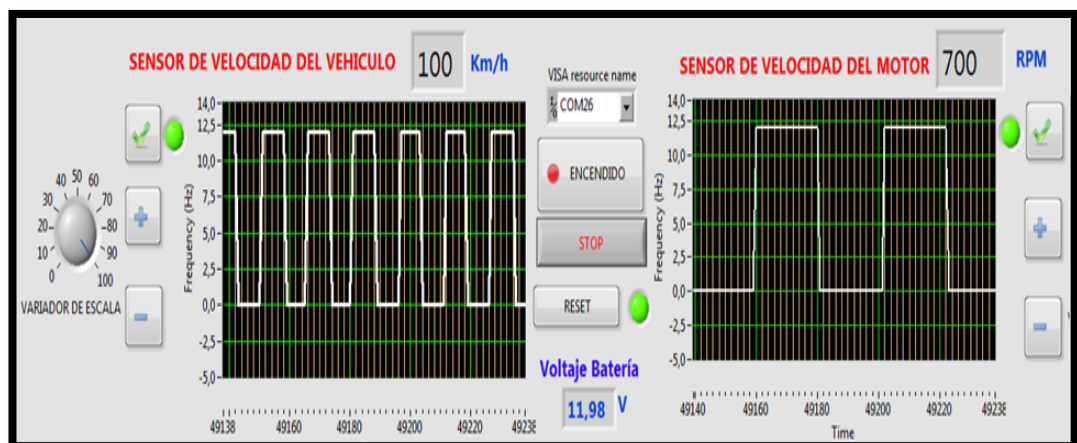


Figura 6.8. Gráficas del sensor de velocidad del vehículo y de la velocidad del motor
Fuente: Los Autores

6.2.2. VISUALIZACIÓN DE LAS GRÁFICAS DE SEÑALES DEL SENSOR DE PAR CON EL VOLANTE EN REPOSO, EN MOVIMIENTO, GIRO MÁXIMO Y AL DESCONECTAR ALGUNA DE SUS SEÑALES.

El sensor de par es un sensor tipo potenciómetro el cual varía su voltaje dependiendo del grado de giro del volante.

La gráfica dispone de botones similares al del banco didáctico con las cuales podemos conectar y desconectar las señales principal o auxiliar del sensor de par.

- Con el volante en reposo se puede ver que las señal principal y auxiliar del sensor de par son dos líneas que se encuentran en un voltaje constante de 2.5 V aproximadamente.

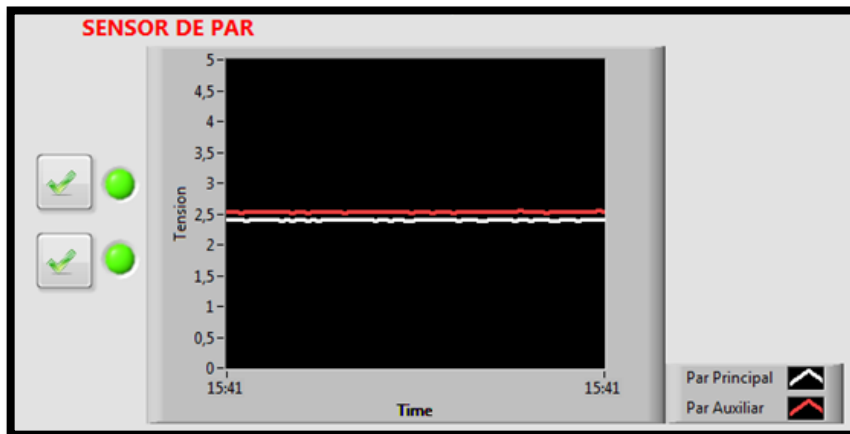


Figura 6.9. Gráfica del sensor de par con el volante en reposo
Fuente: Los Autores

- Con el volante en movimiento se puede ver que las señales principal y auxiliar del sensor de par son opuestas y simétricas al eje horizontal, es decir que mientras la una sube la otra baja, variando de 2.2 V a 2.8 V entre ellas.

Al girar el volante a la derecha la señal principal será ascendente y la señal auxiliar será descendente, mientras que al girar a la izquierda la señal principal es descendente y la señal auxiliar ascendente.

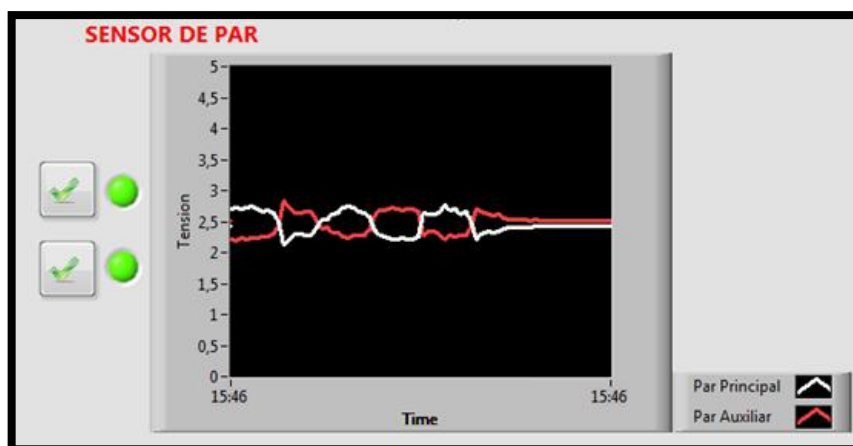


Figura 6.10. Gráfica del sensor de par con el volante en movimiento
Fuente: Los Autores

- Con el volante al giro máximo se puede ver que las señales principal y auxiliar del sensor de par la señal principal llega a 1.5 V y la señal auxiliar llega 3.5 V

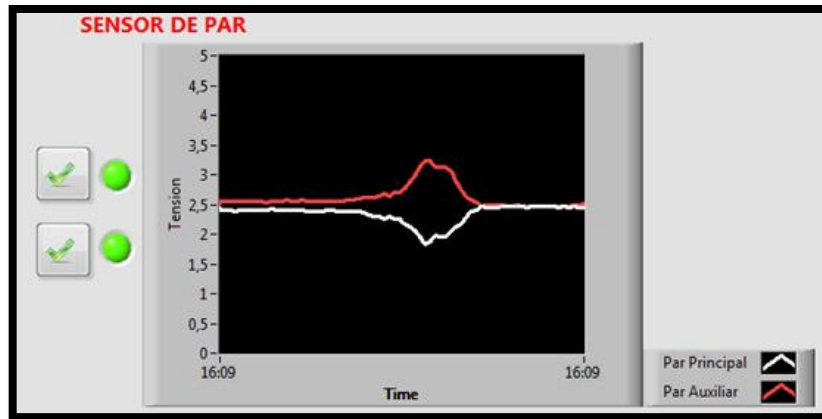


Figura 6.11. Gráfica del sensor de par con el volante a giro máximo
Fuente: Los Autores

- Al desconectar una de las señales sea la principal o auxiliar del sensor de par su voltaje desciende a 0 V por lo que se producirá un código de error.



Figura 6.12. Gráficas al desconectar la señal principal y auxiliar de par
Fuente: Los Autores

6.2.3. VISUALIZACIÓN DE LA GRÁFICA DE CORRIENTE DEL MOTOR CON EL VOLANTE EN REPOSO, EN MOVIMIENTO Y AL TOPE DE GIRO

- Con el volante en reposo se puede ver que no existe consumo de corriente por lo que se encuentra en 0 A.

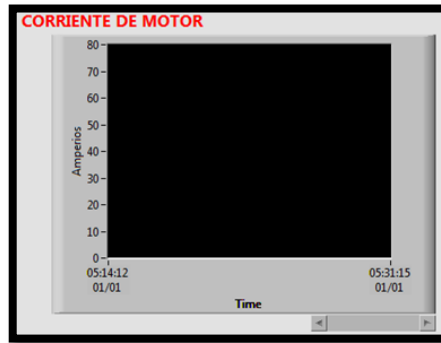


Figura 6.13. Gráfica de la corriente del motor con el volante en reposo
Fuente: Los Autores

- Con el volante en movimiento se puede ver que el consumo de corriente del motor incrementa aproximadamente a 20 A

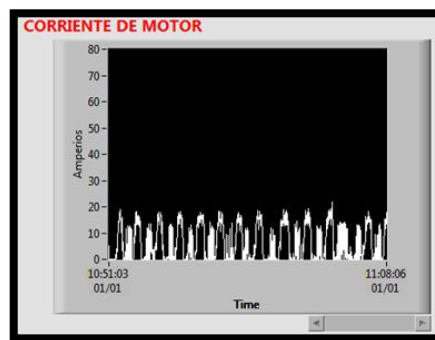


Figura 6.14. Gráfica de la corriente del motor con el volante en movimiento
Fuente: Los Autores

- Con el volante al tope de giro es cuando el motor eléctrico consume mayor amperaje ya que va ser aproximadamente a 59 A

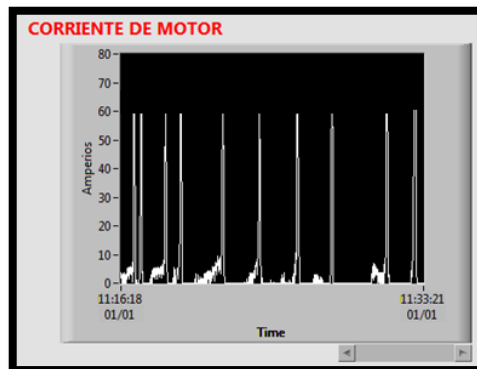


Figura 6.15. Gráfica de la corriente del motor con el volante al tope de giro
Fuente: Los Autores

6.2.4. ANÁLISIS COMPLETO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA MDPS

En la Tabla 6.12 se encuentran recolectados los datos de las pruebas que se realizó en el sistema en su funcionamiento normal y al simularse cuatro de sus fallas, para analizar el torque aplicado en el volante versus la corriente del motor, así como la variación del voltaje de la batería.

Cabe recalcar que cuando el valor del torque aplicado en el volante es positivo el giro es hacia la derecha y cuando es negativo el giro es hacia la izquierda.

Tabla 6.12. Análisis completo del funcionamiento del sistema MDPS

Funcionamiento	Prueba	Condiciones	Tiempo	Torque máximo aplicado en el volante	Corriente del motor	Voltaje de batería
Normal	1	0 Km/h y 700 RPM	Instantáneo	-2.8 Nm	19 A	11.8 V
	2	100 Km/h y 700 RPM	Instantáneo	3.0 Nm	18 A	11.8 V
	3	200 Km/h y 700 RPM	Instantáneo	-5.0 Nm	17 A	11.8 V
	4	0 Km/h y 7000 RPM	Instantáneo	2.1 Nm	20 A	12.03 V
	5	100 Km/h y 7000 RPM	Instantáneo	-3.6 Nm	17.2 A	12.03 V
	6	200 Km/h y 7000 RPM	Instantáneo	3.9 Nm	17.5 A	12.03 V
Al simular las fallas	7	0 Km/h y 5000 RPM	5 minutos	3.7 Nm	17.3 A	12.03 V
	8	60 Km/h Y 200 RPM	20 segundos	-11.7 Nm	0.0 A	12.8 V
	9	Par principal Desconectado	Instantáneo	11.7 Nm	0.0 A	12.8 V
	10	Par auxiliar Desconectado	Instantáneo	11.7 Nm	0.0 A	12.8 V

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El grado de asistencia del sistema de dirección electromecánica es mayor cuando el vehículo está parado al igual que a velocidades bajas y es menor a velocidades altas, en el vehículo Hyundai Accent esta asistencia la da un motor eléctrico que consume de 20 a 60 A controlado por un módulo de acuerdo a las señales del sensor de velocidad del vehículo, del sensor de velocidad del motor, ambos de tipo efecto hall con una amplitud de 12 V y una frecuencia máxima de 139 y 119 Hz respectivamente, del sensor de par de tipo potenciómetro el cual crea dos señales lineales, una principal y una auxiliar que se encuentran en 2.5 V cuando el volante esta en reposo, pero que al girar el volante se vuelven opuestas y simétricas al eje horizontal variando de 2.2 V a 2.8 V.
2. Al realizar el despiece de la columna de dirección del vehículo Hyundai Accent, en el sensor de par se encontró un desgaste notorio de los contactos del rotor superior, rotor inferior y de los caminos de la pista estacionaria por lo que se concluyó que el desgaste prematuro de estos elementos son la causa principal para que el sistema MDPS de Hyundai haya presentado fallas generalmente en los países de Sudamérica, debido a las vibraciones causadas por las irregularidades de las carreteras de esta zona.
3. La placa electrónica consta principalmente de un PIC16F877A y de dos PIC16F628A para la simulación de las señales de velocidad del vehículo y velocidad del motor, las cuales se puede variar para

introducirlas al módulo MDPS-CM y obtener códigos de falla llevándolas a rangos incoherentes y mediante el control de las señales del sensor de par por medio de relés.

4. Para la comunicación serial RS-232 entre la placa electrónica y el ordenador se configuró los registros de comunicación para el PIC 16F877A y se diseñó un software en el programa LabVIEW, para poder visualizar las formas de onda de los sensores de: par (Nm), velocidad del vehículo (Km/h), velocidad del motor (rpm), consumo de corriente del motor eléctrico y voltaje de batería que utiliza la dirección electromecánica.
5. Para el diseño mecánico de la estructura y el freno se utilizó el programa SolidWorks, obteniéndose un factor de seguridad de 1.75 y 5.24 respectivamente por lo que se procedió con la construcción.
6. Las pruebas del funcionamiento del banco didáctico se las realizó a distintas velocidades y revoluciones, al desconectar y reconectar señales, notándose de esta manera la variación de la asistencia, al igual que se estableció los métodos de comprobación ante la simulación de fallas.
7. Con el uso del sistema de dirección electromecánica se reduce el espacio requerido ya que se suprimen los componentes hidráulicos, se contribuye con el medio ambiente ya que se elimina el líquido hidráulico y se disminuye el consumo de combustible al no entregar parte de la potencia del motor a una bomba, lastimosamente su utilización es limitada dependiendo del peso del vehículo, ya que en vehículos de gran tamaño al ser más pesados y poseer ruedas más grandes se necesitaría un mayor consumo de corriente y un motor eléctrico más grande, por lo que su utilización abarca únicamente

vehículos de turismo como el Hyundai Accent, Toyota Yaris, Citroën C3, BMW Z4, por mencionar algunos. En vehículos pesados se está optando por utilizar sistemas electrohidráulicos en el que una bomba hidráulica es movida por un motor eléctrico.

RECOMENDACIONES

- 1.** Se debe tener conocimiento previo del funcionamiento del sistema MDPS Hyundai Accent 2008 para no improvisar en el uso del banco didáctico.
- 2.** La columna de dirección electromecánica del vehículo Hyundai Accent no debe ser desarmada ya que no fue diseñada para esto por la complejidad de su ensamble y la precisión con la que se encuentra ensamblado el sensor de par, únicamente se puede desmontar el motor eléctrico para su mantenimiento (engrasado), en esta ocasión por efectos de estudio se hizo un despiece de una columna de dirección en mal estado.
- 3.** Verificar que exista continuidad entre los pulsadores y la placa electrónica debido a que los cables se pueden soltar de sus borneras y para el correcto funcionamiento de las placas, evitar que tengan contacto directo con la humedad, el agua o cualquier otro líquido el cual cause deterioró o cortos circuitos en las mismas.

Al realizar las pruebas del banco didáctico se generaron una serie de recomendaciones que se mencionan a continuación:

- 4.** Para el uso correcto del banco didáctico leer el Anexo D (Manual de uso del Tablero de Control) y el Anexo G (Manual de uso del Software).

5. Para la correcta instalación de la comunicación entre el ordenador y el banco didáctico, se debe seguir los pasos que se encuentran en el Anexo E (Manual de Instalación del hardware del conector USB Serial), Anexo F (Manual de Instalación del Software). En caso de fallos en la comunicación, inspeccionar los puntos de soldadura del conector de comunicación DB9 colocado en el tablero de control.
6. Ajustar el perno inferior de la mordaza de freno conforme se vaya desgastando las pastillas de freno.
7. No cambiar la posición del socket del módulo MDPS ya que podría quemarse.
8. Al realizar comprobaciones con el multímetro directamente sobre el socket del módulo MDPS, tener cuidado de no topar la punta de multímetro a más de un pin a la vez.
9. Si se va a medir la corriente del motor eléctrico hacerlo con un equipo capaz de medir de 20 a 60 A. Ya que al girar libremente el volante, el sistema consume 20 A, pero al girar al tope de los extremos, el sistema consume aproximadamente 60 A.
10. No verificar la función OHP por demasiadas veces consecutivas ya que podría darse el caso que se atasque el relé de seguridad interno del módulo MDPS y no se active dicha función, llegando a recalentarse el motor eléctrico y sufrir daños.

BIBLIOGRAFÍA:

- Barrera J. Sistemas de Dirección y Suspensión, Escuela de Ingeniería Departamento de Mecánica Automotriz y Autotrónica, Editorial Lexus, México - 2006
- Budynas G. y Nisbett, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Editorial McGraw-Hill, octava edición, México, 2008
- Cascajosa. M. Ingeniería de vehículos. Editorial Alfaomega. México 2005
- Hermógenes. G. Manual CEAC del Automóvil. Grupo Editorial Ceac. Barcelona. 2003
- Hyundai, EPS & MDPS, Chonan Technical Service Training Center
- Hyundai, MC MDPS, Chonan Technical Service Training Center
- Hyundai Motor Company. Manual de Taller tomo 2. 2006. Korea
- Hyundai Service training. Dirección Electrónica Asistida de Columna. 2006
- Lajara J y Pelegri J. LabVEIEW entorno grafico de programación. 1ra Edición. Editorial Alfaomega España 2007
- Manual de SolidWorks 2011
- PIC16F877A Data Sheet

BIBLIOGRAFÍA VIRTUAL

- www.aficionadosalamecanica.com/direccion-asistida-hidra.htm
- www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-40.html
- www.electromicrodigital.com
- www.mecanicavirtual.org/dirección-asistida-electr.htm
- www.mecanicavirtual.org/sensores2.htm
- www.microchiptechnology/inc.com

ANEXO A

PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F877A

```
*****
* Name      : ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO *
* Author    : [PIZANAN JUAN CARLOS ; TARAPUES NELSON DAVIS] *
* Notice    : Copyright (c) 2012 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
*           : All Rights Reserved *
* Date      : 16/01/2012 *
* Version   : 1.0 *
* Notes     : PROGRAMACION DE LA PLACA ELECTRONICA PRINCIPAL *
*           : PARA LA DIRECCION ELECTROMECHANICA HYUNDAI ACCENT *
*****
DEFINE OSC 12'defina la frecuencia del cristal

'CONFIGURACION DEL PIC PARA PULSADORES DE VELOCIDAD Y RPM
TRISC.0=%1 'configurar pin de entrada PORTC.0
TRISC.1=%1 'configurar pin de entrada PORTC.1
TRISC.2=%1 'configurar pin de entrada PORTC.2
TRISC.3=%1 'configurar pin de entrada PORTC.3
TRISC.4=%1 'configurar pin de entrada PORTC.4
TRISC.5=%1 'configurar pin de entrada PORTC.5

'CONFIGURACION DEL PIC PARA SALIDA A LOS PICS DE VELOCIDAD, RPM Y RELE DE RESET
TRISD=%00001000 ' CONFIGURO TODO EL PORTD COMO SALIDAS

'CONFIGURACION DEL PIC PARA PULSADORES DE RESET Y SEÑAL PRINCIPAL Y AUXILIAR DE PAR
TRISE.0=1 'configurar pin de entrada PORTE.0
TRISE.1=1 'configurar pin de entrada PORTE.1
TRISE.2=1 'configurar pin de entrada PORTE.2

'CONFIGURACION DEL PIC PARA RELES Y SEÑAL PRINCIPAL Y AUXILIAR DE PAR
TRISB.0=0 'configurar pin de SALIDA PORTB.0
TRISB.1=0 'configurar pin de SALIDA PORTB.1

PORTE=0 ' Inicializo pulsadores reset, principal y auxiliar de par en 0
PORTD=%01110111 ' Inicializo rele de reset y encendido en 0 y salida a los pics de velocidad y rpm en 1

'CONFIGURACION DEL LCD
DEFINE LCD_DREG PORTB ' puerto de datos PORTB
DEFINE LCD_DBIT 4 ' portb.4
DEFINE LCD_RSREG PORTB ' pin de escritura
DEFINE LCD_RSBIT 2 ' portb.2
DEFINE LCD_EREG PORTB ' pin enable
DEFINE LCD_EBIT 3 ' portb.3
DEFINE LCD_BITS 4 ' 4 bits
DEFINE LCD_LINES 2 ' 2 lineas x 16

'CONFIGURACION DEL CONVERSION ANALOGO DIGITAL PARA SENSOR DE PAR
DEFINE ADC_BITS 8 ' de 8 bits
DEFINE ADC_CLOCK 3 ' cada (rc = 3 microseg)
DEFINE ADC_SAMPLEUS 50 '50 muestras

'CONFIGURACION DEL PIC PARA ENTRADA DE SEÑALES DE BAT, CORRIENTE, PRINCIPAL Y AUXILIAR DE PAR
TRISA=%11111111 ' Configuro todo el puerto como entradas

'CONFIGURACION DE LOS REGISTROS DE COMUNICACION SERIAL
intcon=%11000000 ' habilito interrupciones generales o perifericas
pie1=%00100000 ' habilito la interrupcion por recepcion
rcsta=%10010000 ' configuro la recepcion de datos
txsta=%00100100 ' configuro la transmision de datos
spbrg=76 ' velocidad de comunicacion serial 9600 baudios
ADCON1 =%00000010' configuro pines de entarda analogicos

'DECLARACION DE VARIABLES
OFFRPM VAR PORTC.0
MASRPM VAR PORTC.1
MENOSRPM VAR PORTC.2
OFFVEL VAR PORTC.3
MASVEL VAR PORTC.4
MENOSVEL VAR PORTC.5
RESET VAR PORTE.0
```

```

OFFPAR1 VAR PORTE.1
OFFPAR2 VAR PORTE.2
RELERESET VAR PORTD.7
RELEPAR1 VAR PORTB.0
RELEPAR2 VAR PORTB.1
SALIDAOFFRPM VAR PORTD.0
SALIDAMASRPM VAR PORTD.1
SALIDAMENOSRPM VAR PORTD.2
SALIDAOFFVEL VAR PORTD.4
SALIDAMASVEL VAR PORTD.5
SALIDAMENOSVEL VAR PORTD.6
ENCENDIDO VAR PORTD.3

```

```

dato1 VAR BYTE
dato1=0
dato2 VAR BYTE
dato2=0
dato1S VAR BYTE
dato1S=0
dato2S VAR BYTE
dato2S=0
i VAR BYTE
i=2
k VAR BYTE
k=0
Y VAR BIT
Y=0
X VAR BIT
X=0
E VAR BIT
E=0
T VAR BIT
T=0
U VAR BIT
U=0
V VAR BIT
V=0
SENALPRIN VAR BYTE
SENALAUX VAR BYTE
BAT VAR BYTE
CORRIENTE VAR BYTE
RECEPCION VAR BYTE
RECEPCION2 VAR BYTE
RECEPCION=0
RECEPCION2=0

BANDERAS VAR BYTE
LAB1 VAR BYTE
LAB2 VAR BYTE
LAB1=0
LAB2=0

AUX VAR BYTE
AUX2 VAR BYTE
conta VAR BYTE

```

```

'PROGRAMACION DEL LCD
LCDOUT $fe,$80," INGENIERIA" ' PANTALLA DE BIENVENIDA
LCDOUT $fe,$C0," AUTOMOTRIZ"
PAUSE 1500

```

```

ON INTERRUPT GOTO INTERRUPCION ' Si hay interrupcion vaya a la etiqueta interrupcion

```

```

INICIO:

```

```

LCDOUT $fe,1

```

```

IF ENCENDIDO=0 OR RECEPCION2.0=1 THEN : GOSUB AR : TOGGLE E

```

```

IF E=1 THEN

```

```

Y=1

```

```

X=1

```

```

SALIDAOFFRPM=0: PAUSE 50 :SALIDAOFFRPM=1 : i=3

```

```

SALIDAOFFRPM=0: PAUSE 50 :SALIDAOFFRPM=1 : k= 1

```

```

TOGGLE E' ACTIVO LAS SEÑALES
ENDIF

IF OFFRPM=0 OR RECEPCION.0=1 THEN GOSUB AR : SALIDAOFFRPM=0: PAUSE 50 :SALIDAOFFRPM=1 : i=3 : TOGGLE Y
IF Y=1 THEN

LCDOUT $fe,C0, DEC (dato1*100)," RPM "

IF MASRPM=0 OR RECEPCION.1=1 THEN GOSUB AR : SALIDAMASRPM=0: PAUSE 50 :SALIDAMASRPM=1 : i=i+ 1
IF MENOSRPM=0 OR RECEPCION.2=1 THEN GOSUB AR : SALIDAMENOSRPM=0: PAUSE 50 :SALIDAMENOSRPM=1 : i=i- 1
IF i >= 13 THEN i=13
IF i <= 1 THEN i=1
ELSE
LCDOUT $fe,C0,"Sensor OFF"
i=0
ENDIF

IF OFFVEL=0 OR RECEPCION.3=1 THEN GOSUB AR : SALIDAOFFVEL=0: PAUSE 50 :SALIDAOFFVEL=1 : k= 1: TOGGLE X
IF X=1 THEN

LCDOUT $fe,$80, DEC (dato2), " Km/h"
IF MASVEL=0 OR RECEPCION.4=1 THEN GOSUB AR : SALIDAMASVEL=0: PAUSE 50 :SALIDAMASVEL=1 : k=k+1
IF MENOSVEL=0 OR RECEPCION.5=1 THEN GOSUB AR : SALIDAMENOSVEL=0: PAUSE 50 :SALIDAMENOSVEL=1 : k=k-1
IF k >=14 THEN k=14
IF k <= 1 THEN k=1
ELSE
LCDOUT $fe,1,"Sensor OFF"
k=0
ENDIF

GOSUB TABLA1S
GOSUB TABLA2S
GOSUB TABLA1
GOSUB TABLA2
GOSUB TLAB2
GOSUB TLAB1

PAUSE 20
GOTO INICIO

AR: ' SUBROUTINA DE ANTIREBOTES
IF ENCENDIDO=0 THEN GOTO AR
IF RESET=0 THEN GOTO AR
IF OFFPAR1=0 THEN GOTO AR
IF OFFPAR2=0 THEN GOTO AR
IF OFFRPM=0 THEN GOTO AR
IF MASRPM=0 THEN GOTO AR
IF MENOSRPM=0 THEN GOTO AR
IF OFFVEL=0 THEN GOTO AR
IF MASRPM=0 THEN GOTO AR
IF MENOSRPM=0 THEN GOTO AR
IF RECEPCION.0=1 THEN GOTO AR
IF RECEPCION.1=1 THEN GOTO AR
IF RECEPCION.2=1 THEN GOTO AR
IF RECEPCION.3=1 THEN GOTO AR
IF RECEPCION.4=1 THEN GOTO AR
IF RECEPCION.5=1 THEN GOTO AR
IF RECEPCION.6=1 THEN GOTO AR
IF RECEPCION.7=1 THEN GOTO AR
IF RECEPCION2.0=1 THEN GOTO AR
IF RECEPCION2.1=1 THEN GOTO AR
RETURN

TABLA1:
LOOKUP i, [0,2,6,7,10,15,20,25,30,35,40,50,60,70],dato1 ' TABLA DE REVOLUCIONES PARA LCD
RETURN

TLAB1:
LOOKUP i, [0,2,6,7,11,15,20,25,30,35,40,50,60,70],LAB1 ' TABLA DE REVOLUCIONES labview
RETURN

TABLA1S:
LOOKUP i, [0,255,245,210,147,98,73,59,49,42,37,29,24,21],dato1S 'TABLA DE REVOLUCIONES PARA LA ONDA CUADRADA
RETURN

```

```

TABLA2:
LOOKUP k, [0,0,10,20,30,40,60,80,100,120,140,160,180,200],dato2 ' TABLA DE VELOCIDADES PARA LCD
RETURN

TLAB2:
LOOKUP k, [0,0,12,20,30,40,60,80,100,120,140,160,180,200],LAB2 ' TABLA DE VELOCIDADES PARA Labview
RETURN

TABLA2S:
LOOKUP k, [0,0,195,97,65,48,32,24,19,16,13,12,11,9],dato2S ' TABLA DE VELOCIDADES PARA LA ONDA CUADRADA
RETURN

ADCIN 0, SENALPRIN ' Almaceno la señal principal del sensor de par
ADCIN 1, SENALAU ' Almaceno la señal auxiliar del sensor de par
ADCIN 2, BAT ' Almaceno la señal de la bateria
ADCIN 3, CORRIENTE ' Almaceno la señal de corriente

GOSUB TABLARPMP
GOSUB TABLAVELOCIDAD

IF RESET=0 OR RECEPCION2.1=1 THEN : GOSUB AR : TOGGLE T
IF OFFPAR1=0 OR RECEPCION.6=1 THEN : GOSUB AR : TOGGLE U
IF OFFPAR2=0 OR RECEPCION.7=1 THEN : GOSUB AR : TOGGLE V

IF T = 1 THEN ' ACTIVA EL RESET DEL MODULO
RELERESET=1
BANDERAS.0=0
PAUSE 1000
RELERESET=0
BANDERAS.0=1
T=0
ELSE
RELERESET=0
BANDERAS.0=1
ENDIF

IF U = 1 THEN ' ACTIVA LA SENAL DEL DE PAR PRINCIPAL
RELEPAR1=1
BANDERAS.1=0
LCDOUT $fe,$88,"PAR1 OFF"
ELSE
LCDOUT $fe,$88,"PAR1 ON"
RELEPAR1=0
BANDERAS.1=1
ENDIF

IF V = 1 THEN ' ACTIVA LA SEÑAL DEL DE PAR AUXILIAR
LCDOUT $fe,$C8,"PAR2 OFF"
RELEPAR2=1
BANDERAS.2=0
ELSE
LCDOUT $fe,$C8,"PAR2 ON"
RELEPAR2=0
BANDERAS.2=1
ENDIF

IF X= 1 THEN ' ACTIVA LA SEÑAL DEL velocidad
BANDERAS.3=1
ELSE
BANDERAS.3=0
ENDIF

IF Y= 1 THEN ' ACTIVA LA SEÑAL DEL revoluciones
BANDERAS.4=1
ELSE
BANDERAS.4=0
ENDIF

DISABLE 'DESACTIVAR LAS INTERRUPCIONES

INTERRUPCION:
IF PIR1.5=1 THEN GOTO COMUNICACION
GOTO salir

```

```
COMUNICACION:
conta=conta+1
IF conta==1 THEN
AUX2=RCREG
RECEPCION2=AUX2

ELSE
AUX=RCREG
RECEPCION=AUX ' LEO EL DATO DE COMUNICACION Y ALMACENO
conta=0
ENDIF

PAUSE 2
TXREG=SENAL1
PAUSE 2
TXREG=SENAL2
PAUSE 2
TXREG=BAT
PAUSE 2
TXREG=dat01S
PAUSE 2
TXREG=dat02S
PAUSE 2
TXREG=LAB1
PAUSE 2
TXREG=LAB2
PAUSE 2
TXREG=BANDERAS
PAUSE 2
TXREG=CORRIENTE
PAUSE 2
GOTO salir

salir:

INTCON=%11000000 ' habilito interrpciones generales habilito interrupcion periferericas
PIE1=%00100000 ' habilito la interrupcion por recepcion
TXSTA=%00100100 ' configuro la transmision de datos
RCSTA=%10010000 ' configuro la recepcion de datos
PIR1=0

RESUME ' Retorna a la línea del programa en donde ocurrió la interrupción
ENABLE ' ACTIVO LAS INTERRUCCIONES

END
```

ANEXO B

PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F628A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO

```
*****
/* Name      : VELOCIDAD.BAS
/* Author    : TARAPUES NELSON - PIZANAN JUAN
/* Notice    : Copyright (c) 2011 [select VIEW...EDITOR OPTIONS]
/*          : All Rights Reserved
/* Date      : 29/10/2011
/* Version   : 1.0
/* Notes     : ESPE-L
/*          :
*****
DEFINE OSC 4 ' define la frecuencia del cristal

'CONFIGURACION DE PUERTOS
intcon=%00000000 ' INTERRUCCIONES DESACTIVADAS
cmcon=7          ' PORTA DIGITAL
TRISB=%11111111 ' PORTB COMO ENTRADAS
TRISA=%00000000 ' PORTA COMO SALIDAS
PORTA=0         ' INICIALIZO EL PORTA EN CEROS

' DECLARACION DE VARIABLES
ENTRADAOFFVEL VAR PORTB.0
ENTRADAMASVEL VAR PORTB.1
ENTRADAMENOSVEL VAR PORTB.2
AUX2 VAR BIT
TIEMPO2 VAR WORD
PWM2 VAR PORTA.0
PWM2=1
TIEMPO2= 19500
AUX2=0
dato1 VAR BYTE
dato1=0
i VAR BYTE
i=0

PAUSE 500

INICIO:
IF ENTRADAOFFVEL=0 THEN GOSUB AR : i=1: TOGGLE AUX2

IF AUX2=1 THEN
IF ENTRADAMASVEL=0 THEN GOSUB AR : i=i+1
IF ENTRADAMENOSVEL=0 THEN GOSUB AR : i=i-1
IF i >= 14 THEN i=14
IF i <= 1 THEN i=1
ELSE
i=0
ENDIF

GOSUB TABLAVELOCIDAD
TIEMPO2=dato1*100
IF TIEMPO2>=19500 THEN TIEMPO2=19500
IF TIEMPO2<=900 THEN TIEMPO2=900

IF AUX2=1 AND i>1 THEN
PWM2=0
PAUSEUS TIEMPO2
PAUSEUS TIEMPO2
PAUSEUS TIEMPO2
PAUSEUS TIEMPO2
PWM2=1
PAUSEUS TIEMPO2
PAUSEUS TIEMPO2
PAUSEUS TIEMPO2
PAUSEUS TIEMPO2
ELSE
PWM2=0
ENDIF

GOTO INICIO

TABLAVELOCIDAD:
LOOKUP i, [0,0,195,97,65,48,32,24,19,16,13,12,10,9], dato1
RETURN

AR:
IF ENTRADAOFFVEL=0 THEN GOTO AR
IF ENTRADAMASVEL=0 THEN GOTO AR
IF ENTRADAMENOSVEL=0 THEN GOTO AR

RETURN
END
```

ANEXO C

PROGRAMACIÓN EN MICROCODE STUDIO PARA EL PIC 16F628A DE LA SEÑAL DE VELOCIDAD DEL MOTOR

```
*****
'* Name      : RPM.BAS
'* Author    : TARAPUES NELSON - PIZANAN JUAN
'* Notice    : Copyright (c) 2011 [select VIEW...EDITOR OPTIONS]
'*          : All Rights Reserved
'* Date      : 29/10/2011
'* Version   : 1.0
'* Notes     : ESPE-L
'*          :
*****

DEFINE OSC 4 'defina la frecuencia del cristal

'CONFIGURACION DE PUERTOS
intcon=%00000000 'INTERRPCIONES DESACTIVADAS
cmcon=7 'PORTA DIGITAL
TRISB=%11111111 'PORTB COMO ENTRADAS
TRISA=%00000000 'PORTA COMO SALIDAS
PORTA=0 'INICIALIZO EL PORTA CON CEROS

'DECLARACION DE VARIABLES
ENTRADAOFFRPM VAR PORTB.0
ENTRADAMASRPM VAR PORTB.1
ENTRADAMENOSRPM VAR PORTB.2

AUX1 VAR BIT
TIEMPO1 VAR WORD
PWM1 VAR PORTA.0
PWM1=1
TIEMPO1=23000
AUX1=0
dato1 VAR WORD
dato1=0
i VAR BYTE
i=0

PAUSE 500
INICIO:
IF ENTRADAOFFRPM=0 THEN GOSUB AR :i=1: TOGGLE AUX1

IF AUX1=1 THEN
IF ENTRADAMASRPM=0 THEN GOSUB AR : i=i+ 1
IF ENTRADAMENOSRPM=0 THEN GOSUB AR : i=i- 1
IF i >= 13 THEN i=13
IF i <= 1 THEN i=1
GOSUB TABLARM
ELSE
i=0
ENDIF

TIEMPO1=dato1*100
IF TIEMPO1>=23000 THEN TIEMPO1=23000
IF TIEMPO1<=2136 THEN TIEMPO1=2100

IF AUX1=1 THEN
PWM1=0
PAUSEUS TIEMPO1
PWM1=1
PAUSEUS TIEMPO1
ELSE
PWM1=0
ENDIF

GOTO INICIO

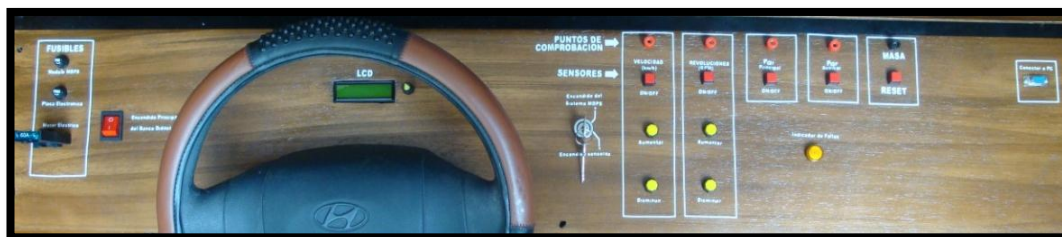
TABLARM:
LOOKUP i, [0,255,245,210,147,98,73,59,49,42,37,29,24,21], dato1
RETURN

AR:
IF ENTRADAOFFRPM=0 THEN GOTO AR
IF ENTRADAMASRPM=0 THEN GOTO AR
IF ENTRADAMENOSRPM=0 THEN GOTO AR
RETURN
END
```


ANEXO D

MANUAL DE USO DEL TABLERO DE CONTROL

El banco didáctico consta de un tablero de control el cual se lo puede apreciar en la siguiente figura.



Tablero de control
Fuente: Los Autores

Para proceder a utilizar el banco didáctico es necesario conocer para que sirven cada uno de los elementos del tablero de control, explicados a continuación en el orden en que deberán accionarse:

1. ENCENDIDO PRINCIPAL DEL BANCO DIDÁCTICO

Al accionar este interruptor se da alimentación de batería al switch de encendido del sistema MDPS y se energiza un relé de 70 A para dar alimentación de batería al pin 21 del módulo MDPS.

El sistema de asistencia continua inactivo.



Encendido principal del banco didáctico
Fuente: Los Autores

2. ENCENDIDO DEL SISTEMA MDPS

Al dar un primer giro de la llave a la posición IG se provee de tensión al pin 1 del módulo MDPS con lo cual el módulo queda completamente alimentado.



Switch de encendido del sistema MDPS
Fuente: Los Autores

De forma simultánea se alimenta la placa electrónica principal y aparece una pantalla de bienvenida en el LCD, en el cual más adelante se mostrará la variación de los sensores de velocidad del vehículo y revoluciones del motor, de igual forma se encenderá el indicador de fallas.

El sistema de asistencia continua inactivo.



Encendido del sistema MDPS
Fuente: Los Autores

3. ENCENDIDO DE SENSORES

Al girar la llave a la posición ST se encienden los sensores de velocidad del vehículo y revoluciones del motor.



Switch de encendido de sensores
Fuente: Los Autores

Al activarse los sensores parten de 0 km/h y 700 rpm que se muestra en el LCD. El indicador de fallas se apaga y se escucha la activación del relé de seguridad interno del módulo MDPS.

El sistema de asistencia se activa.



Encendido de sensores
Fuente: Los Autores

4. MANIPULACIÓN DE DATOS Y PUNTOS DE COMPROBACIÓN

Para la manipulación de datos existen pulsadores que cumplen las funciones de: activar y desactivar los sensores de velocidad, revoluciones, par principal, par auxiliar, y las opciones de aumentar y disminuir la velocidad y revoluciones, para comprobar la variación de la asistencia de la dirección en distintas condiciones.

Para poder hacer comprobaciones de tensión de los sensores se tiene jacks bananas para cada sensor y un punto de masa.



Puntos de comprobación y botones de control de sensores
Fuente: Los Autores

5. INDICADOR DE FALLAS

Esta luz se enciende al momento de girar la llave a la posición IG y cuando se ha producido un código de falla en el sistema.



Indicador de fallas
Fuente: Los Autores

6. BOTÓN RESET

Este botón permite reiniciar el sistema cuando la asistencia se ha desactivado por alguna falla provocada en el sistema de asistencia durante su uso.



Botón Reset
Fuente: Los Autores

7. CONECTOR A PC

Para poder visualizar la señal de sensores y del motor eléctrico se dispone de un conector RS232 el cual por medio de un cable se conectará a un ordenador.



Conector a PC
Fuente: Los Autores

8. FUSIBLES

Para la protección de los componentes electrónicos del banco didáctico se dispone de tres fusibles para: el módulo MDPS, placa electrónica y el motor eléctrico, de 10 A, 2 A y 60 A respectivamente que podrán ser reemplazados en el caso de que se quemen a causa de un corto circuito.

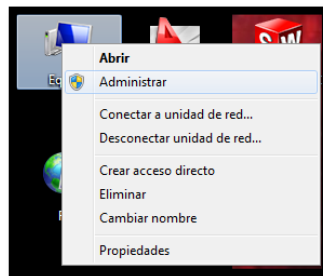


Fusibles
Fuente: Los Autores

ANEXO E

MANUAL DE INSTALACIÓN DEL HARDWARE DEL CONECTOR USB-SERIAL.

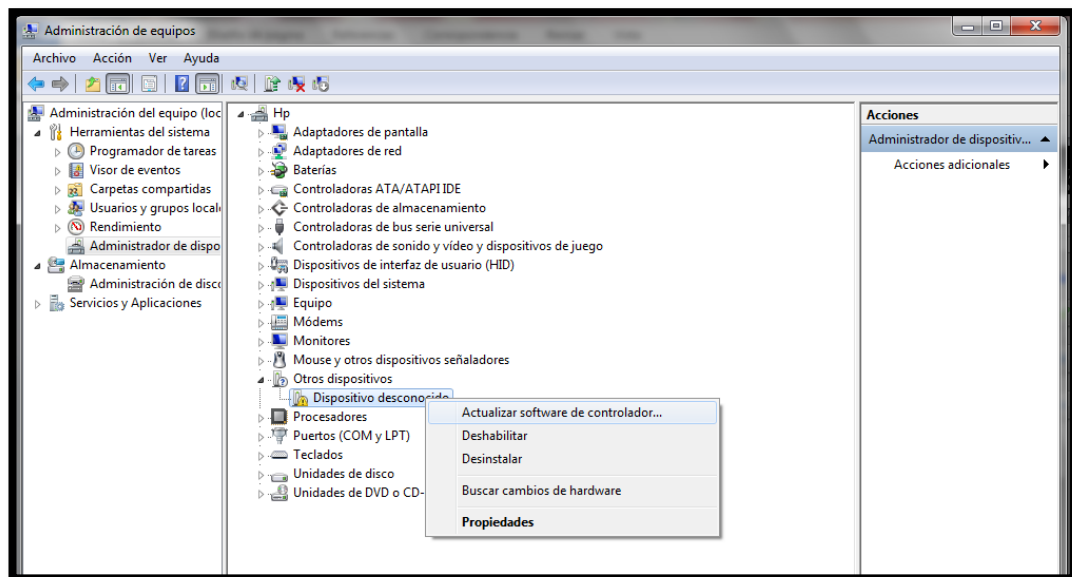
1. Conectar el cable RS232-USB al conector DB9 del banco y al ordenador.
2. En el escritorio hacer clic derecho sobre el ícono “Equipo” y dar clic en “Administrar”.



Administrador

Fuente: Los Autores

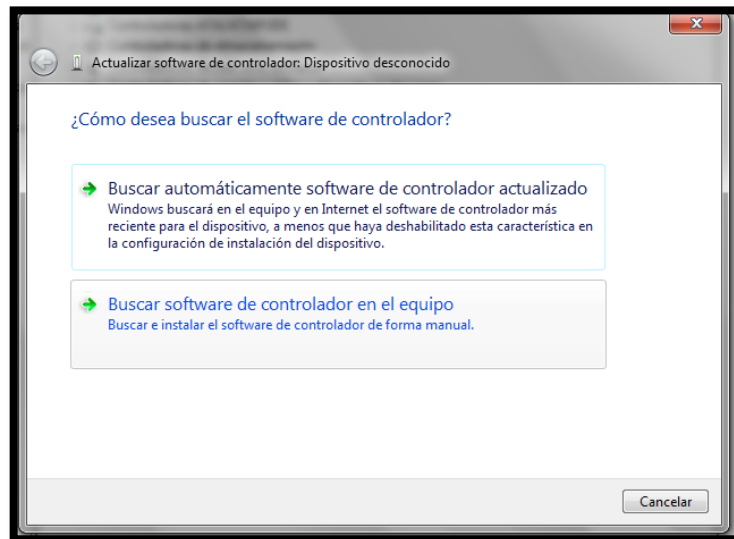
3. Hacer clic derecho en “Dispositivo desconocido” y en “Actualizar software de controlador”.



Pantalla de administrador de equipo

Fuente: Los Autores

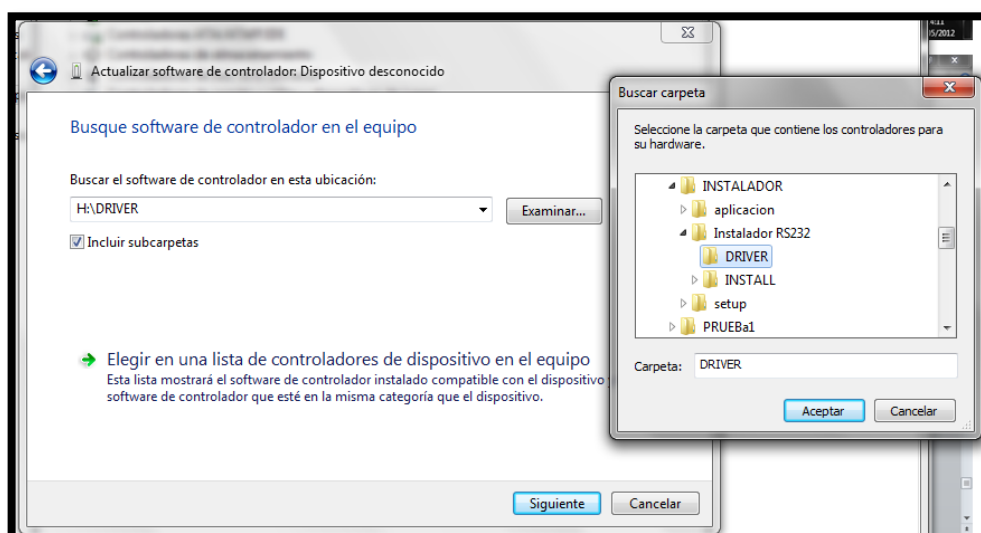
4. Hacer clic en “Buscar software de controlador en el equipo”.



Actualización de software

Fuente: Los Autores

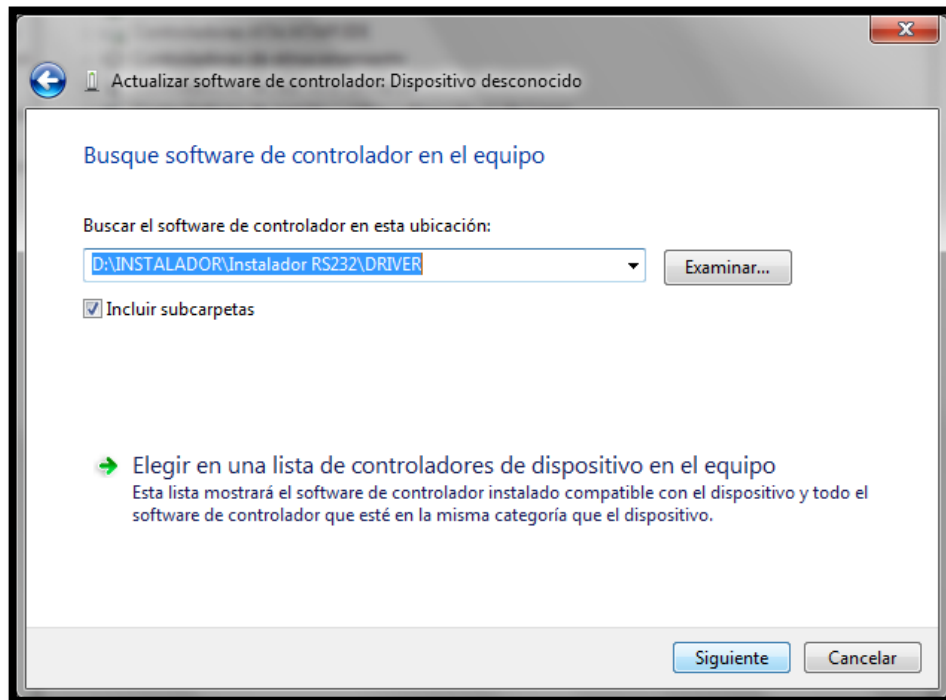
5. Hacer clic en “Examinar” y buscar en la carpeta “INSTALADORES” del CD del programa, ir a “Instalador Hardware conector RS232 serial” y finalmente a “DRIVER”, precionar “Aceptar”.



Ubicación del DRIVER

Fuente: Los Autores

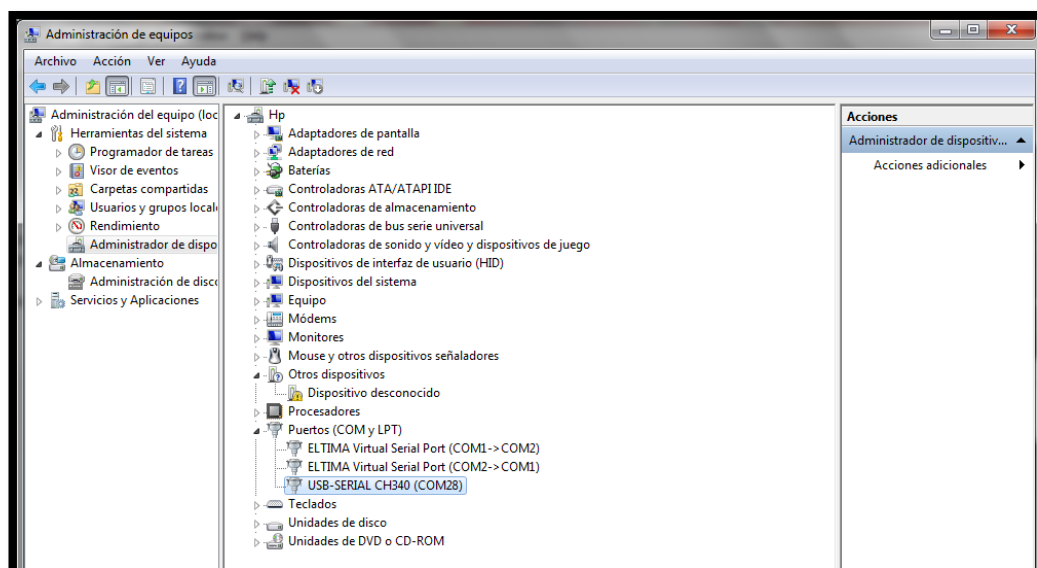
6. Hacer clic en “Siguiente”.



Ubicación al instalarse

Fuente: Los Autores

7. Finalmente comprobamos en “Administrador de equipo” y nos indica “USB-SERIAL”



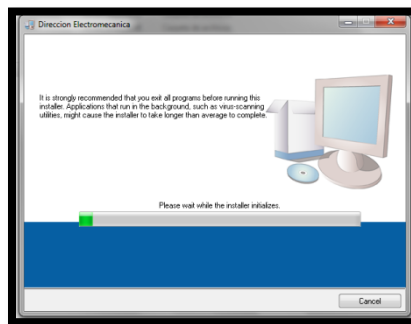
Comprobación de instalación

Fuente: Los Autores

ANEXO F

MANUAL DE INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

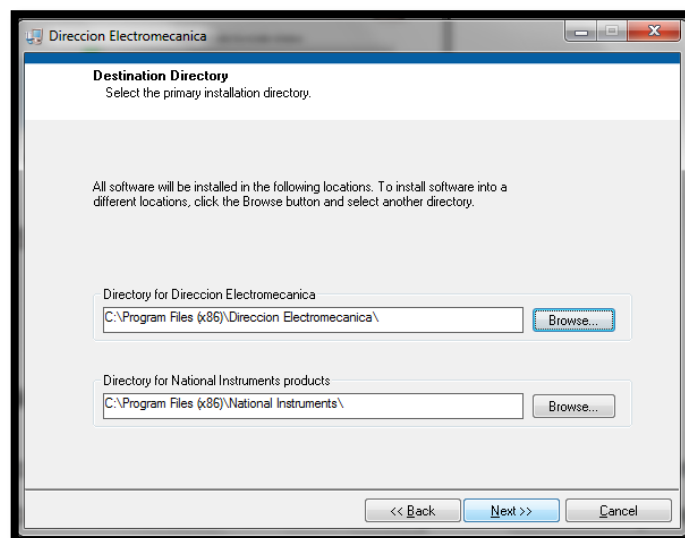
1. Al momento de abrir el CD de instalación ingresar a la carpeta INSTALADORES.
2. Abrir la carpeta “Instalador Software”.
3. Hacer clic en la carpeta setup.
4. Hacer clic en la carpeta volumen.
5. Hacer clic en el icono Setup que ejecutará la siguiente pantalla.



Pantalla de ejecución

Fuente: Los Autores

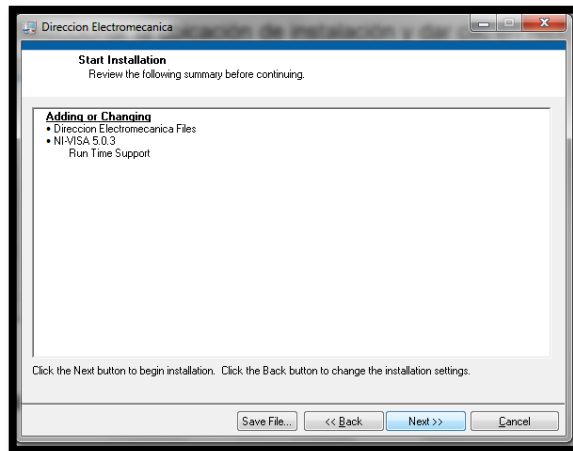
6. Seleccionar la ubicación de instalación y dar clic en Next.



Ubicación de instalación

Fuente: Los Autores

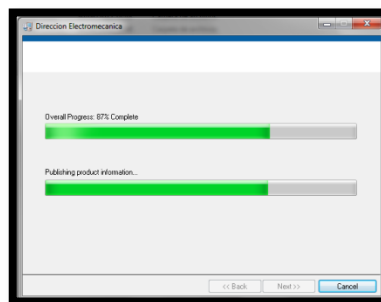
7. Se abre la siguiente pantalla y dar nuevamente clic en Next.



Versión del instalador

Fuente: Los Autores

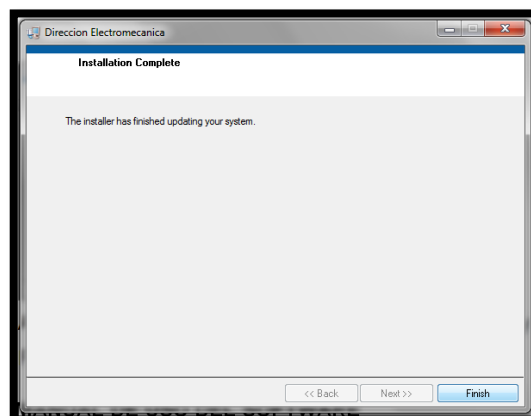
8. Comienza la instalación.



Instalación

Fuente: Los Autores

9. Aparece una pantalla que dice instalación completada y dar clic en Finish.



Finalizar instalación

ANEXO G

MANUAL DE USO DEL SOFTWARE

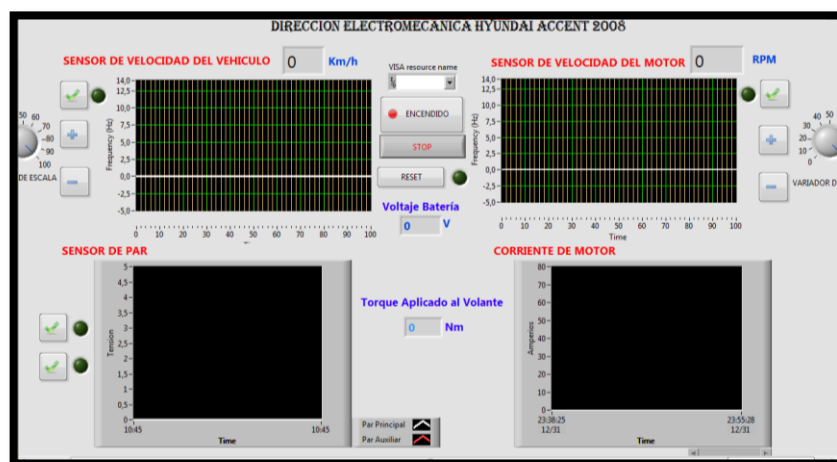
Para poder hacer existente la comunicación entre el ordenador y el banco didáctico se debe tener alimentada la placa electrónica principal por lo que la llave debe estar en la posición IG (encendido del sistema MDPS), posteriormente conectamos el cable de comunicación al ordenador.

Instalado el software en el ordenador nos dirigimos a la opción todos los programas y buscamos con el nombre de dirección electromecánica y se abre una pantalla de presentación como se aprecia en la siguiente figura.



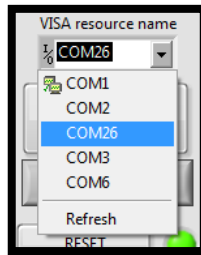
Pantalla de presentación
Fuente: Los Autores

Se da clic en inicio para ingresar a la pantalla de visualización de datos del sistema MDPS como se aprecia en la siguiente figura.



Pantalla de visualización de datos
Fuente: Los Autores

Para la comunicación entre el ordenador se escoge el número de puerto en VISA presionando Refresh y haciendo doble clic en el que aparece como se aprecia en la siguiente figura.



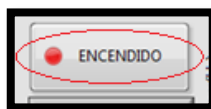
Selección de puerto de comunicación

Fuente: Los Autores

Para proceder a utilizar el banco didáctico es necesario conocer para que sirven cada uno de los elementos del software de control, explicados a continuación:

1. ENCENDIDO DE SENSORES

Al presionar el botón “Encendido” se activan los sensores de velocidad del vehículo, revoluciones del motor y se pone en ejecución la visualización de las gráficas de los sensores de: velocidad del vehículo, revoluciones del motor, sensor de par y corriente del motor, igual podemos observar el voltaje de la batería y el torque aplicado en el volante.



Encendido de sensores

Fuente: Los Autores

2. VARIADOR DE ESCALA

Es posible que las gráficas de los sensores de velocidad del vehículo y velocidad del motor no se visualicen al dar clic en encendido por lo que se hace uso del variador de escala para visualizar la gráfica a conveniencia. Normalmente se debe de escoger la escala de 100.



Variador de escala
Fuente: Los Autores

3. BOTÓN DE STOP

Este botón sirve congelar la pantalla y poder analizar detenidamente cada una de las gráficas.



Botón Stop
Fuente: Los Autores

4. BOTÓN DE RESET

Realiza la misma función que el Reset del banco didáctico es decir reinicia el sistema MDPS en caso de que exista alguna falla.



Botón Reset
Fuente: Los Autores

5. CONTROLES

Sirven para desactivar, aumentar y disminuir la variación de las señales de los sensores.



Controles
Fuente: Los Autores

Latacunga, Junio del 2012

AUTORES:

Pizanán Castro Juan Carlos

0401441936

Tarapués Chalapú Nelson David

1715042659

DIRECTOR DE CARRERA:

Ing. Juan Castro

UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO

Dr. Rodrigo Vaca Corrales