



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE SERVO DIRECCIÓN ELÉCTRICA A LA
CREMALLERA ORIGINAL DEL VEHÍCULO BMW 320 DEL AÑO
1981**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

AUTORES:

ROBERTO CARLOS BERREZUETA BERREZUETA.

SEBASTIAN FRANCISCO MARTINEZ CORDERO.

DIRECTOR:

THELMO FERNANDO GUERRERO PALACIOS

CUENCA – ECUADOR

2013

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para concluir con este trabajo; a mis padres Roberto y Teresa que junto con mis hermanos Marlene, Jaime, Oswaldo y Jenny constituyen un pilar fundamental en mi vida, quienes supieron brindarme todo el cariño y apoyo a pesar de la distancia. A mi familia que de una u otra forma creyeron en mí.

Roberto Berrezueta

Este trabajo lo pude realizar gracias al amparo que desde niño me ha brindado la Madre Dolorosa, va dedicado a mis padres Hugo y Mónica, quienes a pesar de las dificultades presentes durante el transcurso de mi vida universitaria supieron confiar y tener fe en mí para poder llegar a esta etapa tan importante en mi vida; a mi hermano Juan Manuel, que ha sido un ejemplo a seguir y a mi hermano menor Nicolás.

Sebastián Martínez

AGRADECIMIENTO

Nuestros agradecimientos van dirigidos a los profesores y colaboradores que conforman la escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay por haber compartido sus conocimientos con el afán de prepararnos de la mejor manera para afrontar la vida profesional. Queremos hacer una mención especial al director del proyecto, Ing. Fernando Guerrero Palacios por colaborar desinteresadamente durante el transcurso del mismo.

Resumen
09/05/13

RESUMEN

IMPLEMENTACIÓN DE SERVO DIRECCIÓN ELÉCTRICA A LA CREMALLERA ORIGINAL DEL VEHÍCULO BMW 320 DEL AÑO 1981

El presente trabajo tuvo por objeto implementar una asistencia eléctrica al mecanismo de dirección por cremallera del vehículo BMW 320 del año 1981 mediante la adaptación de la columna de dirección electro asistida del vehículo Toyota Yaris 2007. Se inició con el estudio teórico de los componentes de dirección de los sistemas mecánico y asistido; luego se determinó la fuerza necesaria para mover las ruedas en cada vehículo, para con esta información diseñar y programar la unidad electrónica de control que comanda la servo dirección eléctrica en el automóvil BMW, con lo que se consiguió reducir el esfuerzo al girar el volante en un 30% a velocidades de circulación del vehículo comprendidas entre 0 y 30 km/h.

Palabras clave: Dirección electro asistida, implementación, cremallera, adaptación, servo dirección eléctrica, unidad electrónica de control



Roberto Berrezueta Berrezueta

Estudiante



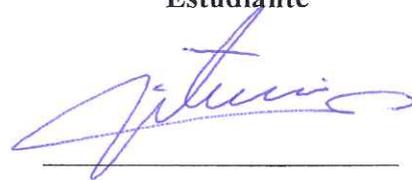
Sebastián Martínez Cordero

Estudiante



Ing. Fernando Guerrero Palacios

Director de Tesis



Ing. Hernán Viteri Cerda

Director de Escuela

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF ELECTRICAL STEERING SERVO IN THE ORIGINAL GEAR RACK OF A BMW 320-YEAR 1981 VEHICLE

The goal of the present research was to implement electrical support in the gear rack mechanism of a BMW 320-Year 1981 vehicle through the adaptation of the electric power assisted steering of the Toyota Yaris 2007 vehicle. We began with the theoretical study of the steering components of both the mechanic and assisted systems. Then we determined the force needed to move the tires of each vehicle. With this information we designed and programmed the electronic control unit that commands the electrical steering servo in the BMW vehicle. Consequently, we were able to reduce the power in a 30% while turning the steering wheel at speeds between 0 and 30 km/h.

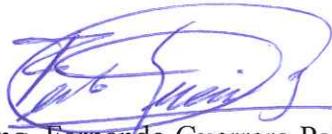
Key Words: electric power assisted steering, implementation, gear rack mechanism, electrical steering servo adaptation, electronic control unit.



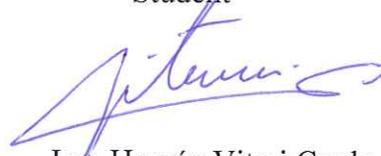
Roberto Berrezueta Berrezueta
Student



Sebastián Martínez Cordero
Student



Ing. Fernando Guerrero Palacios
Thesis Director



Ing. Hernán Viteri Cerda
School Director



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
DPTO. IDIOMAS
Translated by,
Diana Lee Rodas

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Págs.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Índice de Contenidos.....	vi
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Tablas.....	xix
Índice de Anexos.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: DIRECCIÓN MECÁNICA DE CREMALLERA DEL VEHICULO BMW 320 DEL AÑO 1981	
1.1 Cualidades de la Dirección.....	2
1.2 Fundamentos geométricos de la Dirección.....	3
1.3 Modelo simplificado para la evaluación del comportamiento direccional.....	3
1.3.1 Angulo. de Caída.....	5

1.3.2	Angulo de Convergencia.....	8
1.3.3	Angulo de pivote o ángulo de salida.....	10
1.3.4	Angulo de Avance.....	12
1.3.5	Cotas Conjugadas.....	15
1.4	Dirección mediante Giro de Manguetas del eje.....	15
1.5	Mando de la Dirección.....	16
1.5.1	Caja de la Dirección.....	17
1.5.1.1	Caja de Dirección de Cremallera.....	17
1.5.1.2	Sistema de reglaje en el mecanismo de cremallera.....	18
1.6	Ventajas y Desventaja de la Dirección Piñón-Cremallera respecto a otros tipos de dirección.....	20
1.6.1	Ventajas.....	20
1.6.2	Desventajas.....	20
1.7	Influencia de la Cinemática de la Suspensión y la Dirección.....	23
1.8	Frenado.....	24
1.9	Averías en el Sistema de Dirección Mecánico de Cremallera.....	25
1.9.1	Dureza de la Dirección.....	25
1.9.2	Desviaciones.....	25
1.9.3	Holgura del Mecanismo de Dirección.....	25

1.9.4 Oscilación en el volante.....	26
1.10 Mantenimiento.....	26

CAPITULO II: COMPONENTES DEL SISTEMA EPS Y DISEÑO DE LA UNIDAD ELECTRÓNICA DE CONTROL

2.1 Cálculo de esfuerzos en la dirección.....	28
2.1.1 Cálculo de esfuerzos en la dirección en el vehículo BMW 320 del año 1981.....	28
2.1.2 Cálculo de esfuerzos en la dirección en el vehículo Toyota Yaris del año 2007.....	33
2.2 Estructura y funcionamiento de los componentes del Sistema EPS.....	35
2.2.1 Sensor del par de apriete.....	37
2.2.2 Motor de corriente continua.....	39
2.2.3 Mecanismo de reducción.....	40
2.2.4 Columna de la dirección.....	40
2.2.5 Instrumentos.....	41
2.2.6 ECU de la EPS.....	43
2.2.7 ECU del motor.....	43
2.2.8 ECU de control de derrape.....	43

2.3 Selección del sensor de velocidad.....	43
2.4 Unidad electrónica de control del sistema Servo-asistido.....	45
2.4.1 Velocidad de marcha del vehículo.....	45
2.4.2 Régimen de giro del motor de combustión.....	46
2.4.3 Sensores infrarrojos CNY70 en el volante de la dirección.....	46
2.4.3.1 Funcionamiento de un sensor infrarrojo CNY70.....	47
2.4.3.2 Funcionamiento del encoder y sensores infrarrojos a derecha e izquierda.....	48
2.4.4 Micro controladores.....	49
2.4.5 Construcción de la unidad electrónica.....	49
2.4.5.1 Fuente de alimentación.....	49
2.4.5.2 Unidad de procesamiento de señales.....	50
2.4.5.3 Circuito de sensores infrarrojos CNY70 de movimiento del volante.....	52
2.4.5.4 Acoplamiento de señales del Sensor Hall de velocidad.....	53
2.4.5.5 Acoplamiento de la señal de revoluciones por minuto del motor.....	54
2.4.5.6 Interruptores de control de la unidad.....	55

CAPITULO III: MONTAJE DEL SISTEMA EPS EN EL VEHÍCULO BMW

3.1 Dimensiones de la columna del Vehículo BMW y del Sistema EPS.....	56
3.1.1 Columna de Dirección Original del Vehículo BMW.....	56
3.1.2 Dimensiones de la columna EPS.....	58
3.2 Proceso de fabricación de los ejes A y B.....	59
3.2.1 Diseño del eje A.....	59
3.2.2 Diseño del eje B.....	60
3.3 Cálculo de esfuerzos en los ejes A y B.....	61
3.4 Esfuerzos en los ejes A y B empleando un programa de elementos finitos.....	67
3.4.1 Diagrama de las fuerzas aplicadas.....	68
3.4.2 Diagrama del factor de seguridad.....	69
3.4.3 Diagrama de deformación.....	69
3.5 Adaptación de la dirección eléctrica en el vehículo BMW.....	71
3.6 Disposición de Sensores en el vehículo BMW.....	73
3.6.1 Sensor de Velocidad.....	73
3.6.2 Sensor de revoluciones por minuto.....	74
3.6.3 Sensores infrarrojos.....	74
3.7 Montaje e instalación de la UEC en el vehículo BMW.....	75

3.8 Mandos e indicadores del sistema de dirección electro-asistida.....	76
---	----

CAPITULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1 Pruebas de laboratorio.....	78
4.1.1 Sensor Hall de velocidad.....	78
4.1.1.1 Velocidad tangencial.....	79
4.1.2 Sensores infrarrojos CNY70.....	80
4.1.2.1 Diseños de encoder utilizados.....	81
4.1.3 Tarjeta prototipo.....	82
4.1.3.1 Descripción funcional del circuito de visualización y tarjeta de control.....	84
4.1.3.2 Descripción funcional del driver del motor.....	84
4.1.3.2.1 Puente H.....	86
4.2 Pruebas en el vehículo.....	89
4.2.1 Sensor Hall.....	89
4.2.2 Sensor de revoluciones por minuto.....	90
4.2.3 Sensores CNY70.....	91
4.2.3.1 Pruebas con el vehículo apagado.....	91
4.2.3.2 Pruebas con el vehículo encendido.....	91

4.3 Pruebas de funcionamiento del sistema de dirección eléctrica.....	92
4.3.1 Pruebas con el vehículo estacionado.....	92
4.3.2 Pruebas en maniobras de aparcamiento.....	94
4.3.3 Pruebas en carretera.....	94
4.4 Calibración de la asistencia.....	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1-1. Ángulo de viraje de las ruedas.....	4
Figura 1-2. Angulo de caída y sus efectos sobre la orientación de las ruedas.....	5
Figura 1-3. Angulo de Caída en un vehículo con suspensión independiente.....	6
Figura 1-4. Variación de la caída en función del movimiento de la rueda para (1) suspensión tipo McPherson y (2) suspensión de paralelogramo.....	7
Figura 1-5. Variación de la caída respecto al suelo para cuatro tipos de suspensiones posteriores: 1, semi-independiente; 2, McPherson; 3, Brazos Longitudinales; 4, Eje Rígido.....	7
Figura 1-6. “Cono” que se forma como prolongación de la mangueta.....	9
Figura 1-7. Convergencia o paralelismo de las ruedas.....	9
Figura 1-8. Convergencia positiva, neutra y divergencia en las ruedas.....	10
Figura 1-9. Angulo de Salida y sus efectos sobre la orientación de las ruedas.....	11
Figura 1-10. Angulo de Salida en un vehículo con suspensión independiente.....	12
Figura 1-11. Angulo de Avance y sus efectos sobre la orientación de las ruedas.....	13
Figura 1-12. Angulo de Avance en un vehículo con suspensión independiente.....	14
Figura 1-13. Cuando el vehículo se carga, la parte posterior se “hunde” más que la delantera, y el ángulo de avance se incrementa en la misma medida.....	14
Figura 1-14. Cotas conjugadas y sus efectos sobre la orientación de las ruedas.....	15

Figura 1-15. Eje imaginario de giro de la mangueta en una suspensión tipo Mac Pherson.....	16
Figura 1-16. Despiece de una dirección de cremallera.....	18
Figura 1-17. Sistema de reglaje de la dirección.....	19
Figura 1-18. Dispositivos de reglaje de holgura de cremallera.....	19
Figura 1-19. Dirección de piñón cremallera con las bieletas en los extremos.....	21
Figura 1-20. Dirección piñón cremallera con las bieletas unidas al centro.....	22
Figura 1-21. Piñón cremallera situado por delante del eje de la rueda y con los brazos por detrás.....	22
Figura 1-22. Piñón cremallera y brazos situados por delante del eje de la rueda.....	22
Figura 1-23. Variación del ángulo de guiado con los movimientos de la rueda para diferentes longitudes de la bieleta de dirección.....	23
Figura 1-24. Restricción del movimiento en función de la longitud de la bieleta de dirección.....	24
Figura 1-25. Variación de la trayectoria de la rueda en función de la posición de la articulación interior.....	24
Figura 2-1. Distancia “a” BMW.....	29
Figura 2-2. Distancia “b” BMW.....	29
Figura 2-3. Distancias a considerar para el cálculo de esfuerzos en la dirección.....	30
Figura 2-4. Distancia “a” Toyota.....	33
Figura 2-5. Distancia “b” Toyota.....	33

Figura 2-6. a) Peso sobre el eje delantero.....	33
Figura 2-6. b) Valor del peso sobre el eje delantero.....	33
Figura 2-7. a) Peso total del vehículo cargado.....	34
Figura 2-7. b) Valor peso total del vehículo cargado.....	34
Figura 2-8. Distribución de los componentes de la EPS en el vehículo Toyota Yaris.....	35
Figura 2-9. Esquema de funcionamiento de la EPS.....	36
Figura 2-10. Componentes del sensor de torque.....	37
Figura 2-11. Generación del campo magnético en el sensor de torque.....	38
Figura 2-12. Diagrama del sentido de giro.....	39
Figura 2-13. Motor de corriente continua.....	39
Figura 2-14. Mecanismo Desmultiplicador.....	40
Figura 2-15. Columna de dirección EPS.....	41
Figura 2-16. Indicador de averías EPS.....	41
Figura 2-17. Encoder para detectar el sentido de giro.....	42
Figura 2-18. Sensores infrarrojos que trabajan conjuntamente con el encoder.....	42
Figura 2-19. Componentes del sensor tipo Hall.....	44
Figura 2-20. Sensor de velocidad tipo Hall.....	44
Figura 2-21. Señal generada por la bobina de encendido.....	46

Figura 2-22. Diagrama de un sensor infrarrojo y un encoder.....	47
Figura 2-23. Sensor infrarrojo.....	47
Figura 2-24. Canal A y Canal B del encoder.....	48
Figura 2-25. Señal de desfase entre canal A y canal B en giros a derecha e izquierda.....	48
Figura 2-26. Encendido/ Apagado (ON/OFF) Fuente de alimentación de la unidad de procesamiento.....	50
Figura 2-27. Fuente de alimentación del display.....	50
Figura 2-28. Diagrama del indicador de señal sonora.....	51
Figura 2-29. Diagrama de función boot loader de reprogramación.....	51
Figura 2-30. Diagrama del circuito de visualización LCD.....	52
Figura 2-31. Diagrama del circuito de visualización LED.....	52
Figura 2-32. Diagrama de señal en CANAL A del encoder.....	53
Figura 2-33. Diagrama de señal en CANAL B del encoder.....	53
Figura 2-34. Diagrama del circuito del sensor Hall de velocidad.....	53
Figura 2-35. Dispositivo opto acoplador 4N33.....	54
Figura 2-36. Diagrama del sensor de rpm.....	54
Figura 2-37. Interruptores de control de la unidad.....	55
Figura 3-1. Espacio disponible para adaptar el sistema.....	56
Figura 3-2. Eje Articulado original BMW.....	57

Figura 3-3. Columna de dirección BMW.....	57
Figura 3-4. Soporte superior de columna.....	57
Figura 3-5. Soporte inferior de columna.....	57
Figura 3-6. Articulación superior.....	57
Figura 3-7. Articulación inferior.....	57
Figura 3-8. Columna de dirección EPS y columna original de BMW.....	58
Figura 3-9. Localización de los ejes A y B.....	58
Figura 3-10. Conformación del eje A.....	59
Figura 3-11. Junta tipo universal.....	59
Figura 3-12. Estriado interior del eje A.....	59
Figura 3-13. Molde del estriado del Eje A.....	60
Figura 3-14. Fresado del Eje B.....	60
Figura 3-15. Acoplamiento con el eje A.....	60
Figura 3-16. Lado de acoplamiento con el eje articulado.....	60
Figura 3-17. Eje articulado original de BMW.....	60
Figura 3-18. Diagrama de esfuerzos sobre los ejes.....	61
Figura 3-19. Diagramas de Fuerza cortante, momento flector y torque en el eje.....	63
Figura 3-20. Mallado de los ejes A y B.....	68
Figura 3-21. Torque medido para girar las ruedas.....	69

Figura 3-22. Fuerzas aplicadas en los Ejes A y B.....	70
Figura 3-23. Factor de seguridad.....	70
Figura 3-24. Paso del Eje B a través del salpicadero.....	71
Figura 3-25. Deformación de los Ejes A y B.....	72
Figura 3-26 a) Base superior para la fijación de la nueva columna de dirección.....	72
Figura 3-26 b) Base inferior para la fijación de la nueva columna de dirección.....	73
Figura 3-27. Ubicación del sensor de velocidad y placa metálica.....	73
Figura 3-28. Medición de las rpm del vehículo.....	74
Figura 3-29. Sensores CNY70 alojados en la placa metálica.....	74
Figura 3-30. Tarjetas electrónicas de control.....	75
Figura 3-31. Ubicación de la tarjeta electrónica de control.....	76
Figura 3-32. Mandos de control y visualización del sistema.....	77
Figura 4-1. Señal del sensor hall medida en un osciloscopio.....	78
Figura 4-2. Distancias programadas en el micro para medir la velocidad del vehículo.....	79
Figura 4-3. Pruebas de funcionamiento de los sensores CNY70.....	80
Figura 4-4. Señal emitida por los sensores CNY70 en distintos períodos de tiempo.....	80
Figura 4-5. Algunos de los diseños de encoder utilizados.....	82
Figura 4-6. Circuito de prueba desarrollado en protoboard.....	83

Figura 4-7. Circuito desarrollado en una tarjeta de cobre para prototipos.....	83
Figura 4-8. Diagrama de la tarjeta de control y visualización.....	85
Figura 4-9. Ventilador para evitar recalentamientos en el circuito.....	86
Figura 4-10. Transistor quemado en pruebas con el circuito inicial.....	86
Figura 4-11. Circuito con interruptores en puente H.....	87
Figura 4-12. Circuito con dos relés y un transistor de 76 A en puente H.....	88
Figura 4-13. Conexión del sensor Hall en las tarjetas electrónicas de control.....	89
Figura 4-14. Cable que mide la señal de rpm.....	90
Figura 4-15. Conexiones de los sensores CNY70.....	91
Figura 4-16. Interferencia generada debido al ruido electromagnético en el vehículo.....	92
Figura 4-17. Filtros para corregir interferencias de señal.....	92
Figura 4-18. Distintas posiciones del volante indicadas en la pantalla de visualización.....	93
Figura 4-19. Maniobras para comprobar la correcta asistencia en la dirección.....	94
Figura 4-20. Programación del micro controlador utilizando el dispositivo ICD3.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 2-1 Manual del usuario del vehículo BMW 320.....	28
Tabla 2-2 Traducción manual del usuario del vehículo BMW 320.....	29
Tabla 2-3 Coeficientes de rozamiento.....	30
Tabla 2-4 Resultados obtenidos en el vehículo Toyota Yaris.....	33
Tabla 2-5 Medida original de neumático del vehículo BMW.....	34
Tabla 2-6 Medida original de neumático del vehículo Toyota Yaris.....	34
Tabla 3-1 Datos para el cálculo de esfuerzos en el eje.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

	Págs.
Anexo 1: Plano del Eje A.....	100
Anexo 2: Plano del Eje B.....	101
Anexo 3: Diagrama de sensores: infrarrojos y encoder, velocidad y rpm.....	102
Anexo 4: Gráfica de factor teórico de concentración del esfuerzo “ <i>k_{ts}</i> ”.....	103
Anexo 5: Gráfica de factor teórico de concentración del esfuerzo “ <i>k_t</i> ”.....	103
Anexo 6: Factor “ <i>q</i> ” de sensibilidad a la muesca de la carga de flexión y axial.....	104
Anexo 7: Factor “ <i>q</i> ” de sensibilidad a la muesca para la carga cortante.....	104
Anexo 8: Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin.....	105
Anexo 9: Resistencia a la tensión “ <i>S_{ut}</i> ” y resistencia a la fluencia “ <i>S_y</i> ” de los Materiales.....	105

Berrezueta Berrezueta Roberto Carlos

Martínez Cordero Sebastián Francisco

Trabajo de Graduación

Ing. Fernando Guerrero Palacios

Febrero 2013

IMPLEMENTACIÓN DE SERVO DIRECCIÓN ELÉCTRICA A LA CREMALLERA ORIGINAL DEL VEHÍCULO BMW 320 DEL AÑO 1981

INTRODUCCIÓN

El conjunto de elementos que conforman el sistema de dirección tienen como función principal orientar las ruedas del vehículo mediante el accionamiento del volante por parte del conductor, lo que permitirá realizar maniobras tanto a bajas como altas velocidades. El sistema de dirección además debe asegurar un contacto adecuado entre los neumáticos y la carretera, aislando las irregularidades que están presentes y logrando al mismo tiempo reducir los esfuerzos en el mando de la dirección en maniobras a baja velocidad que es hacia dónde va enfocado este tema de tesis, con la implementación de una servo dirección eléctrica, empleando la columna original del vehículo Toyota Yaris modelo 2007 y un módulo de control diseñado específicamente para esta causa, así como también la implementación de un sensor que capta el sentido de giro del volante.

El sensor se compone de un encoder empleado en robótica que trabaja conjuntamente con sensores infrarrojos ubicados detrás del volante, con lo que se mejora la maniobrabilidad del vehículo BMW 320 al asistir electrónicamente su dirección mecánica de cremallera, consiguiendo además una adecuada estabilidad a velocidades elevadas en las que no se requiere asistencia, manteniendo la sensibilidad en la conducción al momento de maniobrar el volante en uno u otro sentido.

CAPITULO I

DIRECCIÓN MECANICA DE CREMALLERA DEL VEHICULO BMW 320 DEL AÑO 1981

1.1 Cualidades de la Dirección.

Seguridad.- depende del diseño del mecanismo, pues en caso de existir alguna colisión, el conjunto deberá desplazarse de tal manera que el conductor no se vea afectado por ningún elemento; también depende de los materiales empleados en su construcción y del correcto mantenimiento preventivo o correctivo del sistema de dirección.

Suavidad.- la resistencia que oponen las ruedas del vehículo al momento de girar el volante aumenta principalmente con la carga sobre el eje delantero, desalineación de las ruedas, presiones de inflado insuficientes y por falta de mantenimiento del sistema de dirección, así como también influye el diámetro del volante, ya que a menor diámetro mayor será el esfuerzo realizado por el conductor para girar las ruedas.

Comodidad.- la comodidad hoy en día se ha vuelto primordial en el diseño de un vehículo, especialmente en el sistema de dirección. Las irregularidades del camino generan golpes en las ruedas que deben llegar al volante lo más amortiguadas posible para brindar una conducción placentera, de tal manera que se pueda mantener el control del vehículo en cualquier condición de la calzada por la que se transite.

Precisión.- el vehículo debe obedecer inmediatamente a cualquier maniobra o corrección de la dirección realizada sobre el volante por el conductor, pues caso contrario se correría el riesgo de perder el control sobre todo a altas velocidades en el momento de realizar una maniobra para evadir un obstáculo que podría presentarse en la carretera.

Estabilidad.- la trayectoria recta del vehículo debe mantenerse sin necesidad de correcciones en el volante por parte del conductor cuando se transita en línea recta, así como también a la salida de las curvas las ruedas deben regresar a la posición recta por si solas.

1.2 Fundamentos geométricos de la Dirección.

Para que las ruedas obedezcan fácilmente al volante de la dirección y no se altere su orientación por las irregularidades del terreno o al efectuar una frenada, es necesario que los elementos que forman el sistema de dirección cumplan ciertos aspectos, los que son conocidos como cotas de dirección o geometría de la dirección.

Una de las cualidades de la dirección es su radio de giro máximo, el mismo que viene dado por la distancia entre pivotes o vía (a), y la distancia entre ejes o batalla (b) del vehículo (Figura 1-1), y permite que las ruedas giren describiendo un círculo de diámetro cuatro veces mayor que la batalla del vehículo.

1.3 Modelo simplificado para la evaluación del comportamiento direccional

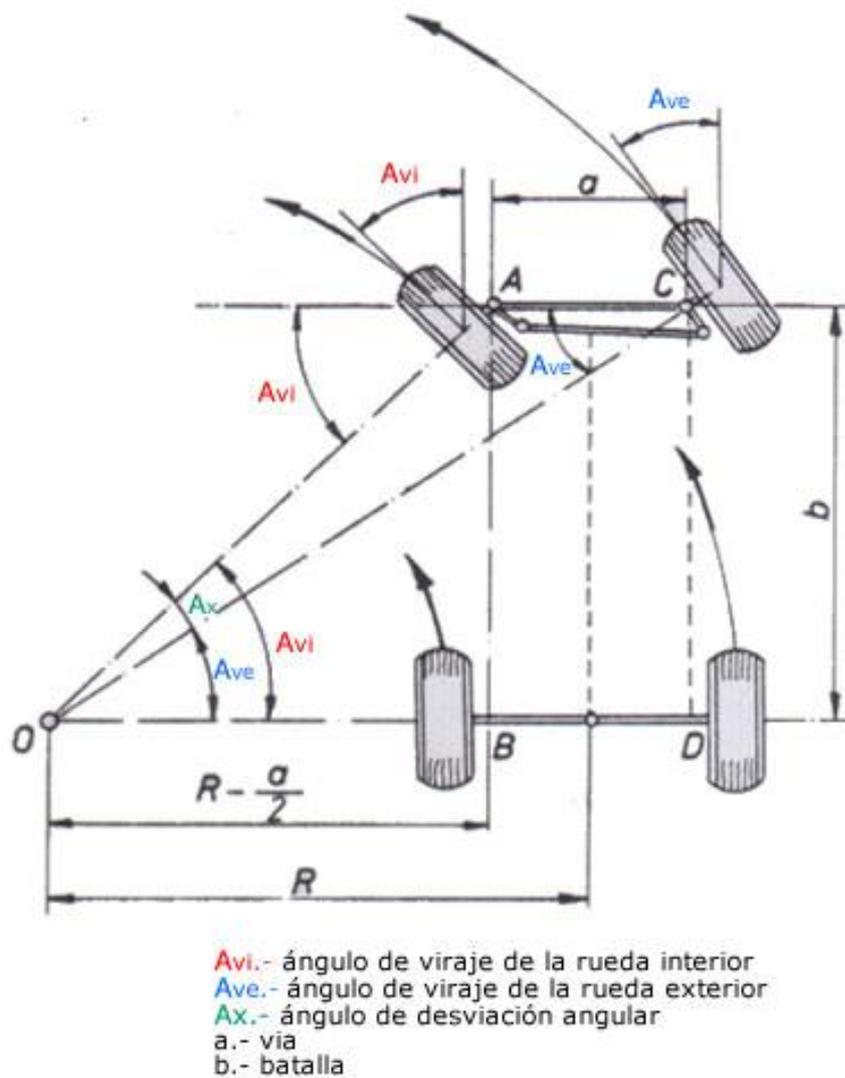
Para analizar el comportamiento direccional de un vehículo se deben tener en cuenta muchos factores tanto del vehículo, tales como: dirección, suspensión, neumáticos; así como también factores relativos al entorno: efectos aerodinámicos, tipo de superficie de rodadura, desniveles, temperatura, etc. Las variables principales del control de comportamiento direccional del vehículo son: los ángulos girados por las ruedas directrices cuando el conductor hace girar el volante, y los ángulos de deriva (desviación angular) de los neumáticos, los mismos que deberán ser los menores posibles para que de esta manera el comportamiento dinámico del vehículo sea el ideal, por lo que adquieren valores distintos siempre que sobre el vehículo actué una fuerza lateral que se compensa mediante fuerzas de adherencia entre neumático y carretera.

El sistema de dirección en conjunto con el sistema de suspensión deberá asegurar un buen control direccional y una adecuada estabilidad. Para diseñar una dirección con esas cualidades, es indispensable que el eje respecto al cual pivota el conjunto mangueta-rueda con relación al vehículo adopte una posición especial conveniente,

que se caracteriza por ciertos ángulos que determinan la geometría del sistema de dirección, y son:

- Ángulo de Caída (Camber)
- Ángulo de Convergencia
- Ángulo de Salida
- Angulo de Avance (Caster)
- Cotas Conjugadas

Fig 1-1: “Ángulo de viraje de las ruedas”



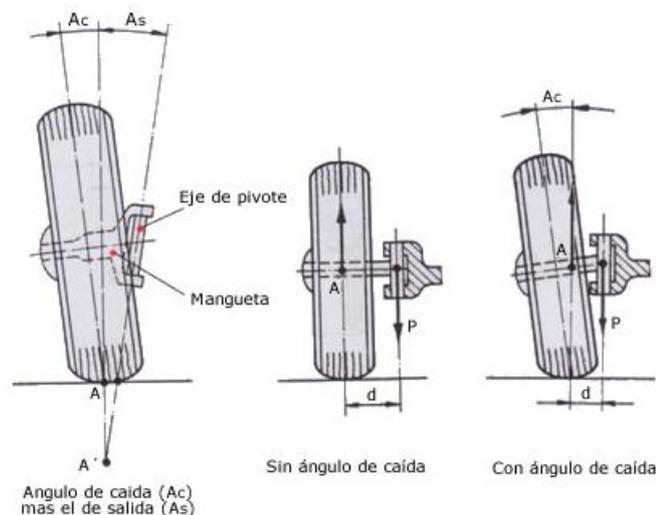
Fuente: www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/angulo-viraje.jpg, revisado el 3- Abril- 2011

1.3.1 Angulo de Caída

“Es el ángulo que forma la prolongación del eje de simetría de la rueda con la vertical que pasa por el centro de apoyo de la rueda "Ac" (Figura 1-2). Este ángulo se consigue dando al eje de la mangueta una cierta inclinación con respecto a la horizontal”¹. Su propósito es desplazar el peso del vehículo que gravita sobre este eje hacia el interior de la mangueta, logrando de esta manera que el empuje lateral de los cojinetes de apoyo de la rueda disminuya.

La mangueta está sometida a esfuerzos de flexión equivalentes al peso que sobre ella gravita (P) por su brazo de palanca (d). Con el ángulo de caída, al inclinar la rueda se reduce la distancia (d), consiguiendo desplazar el punto de reacción (A) hacia el pivote, reduciendo también los esfuerzos a los que están sometidos los rodamientos de la mangueta.

Fig 1-2: “Angulo de caída y sus efectos sobre la orientación de las ruedas”



Fuente: www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/angulo-caida.jpg, revisado el 3-Abril- 2011

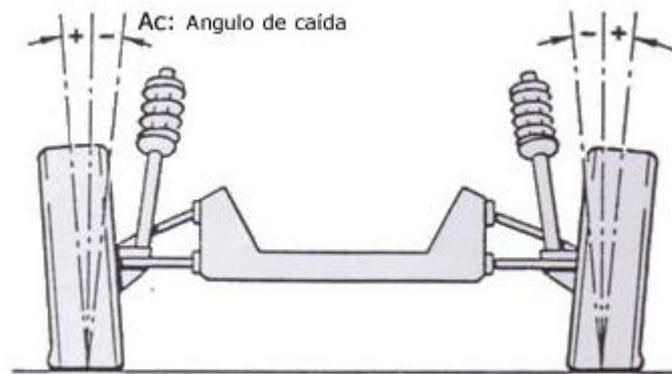
El ángulo de caída (A_c) disminuye el ángulo de salida (A_s), por lo que es recomendable mantenerlo dentro del rango de tolerancia entre treinta minutos y un grado de inclinación. El ángulo de caída puede ser positivo o negativo; se considera caída positiva (figura 1-3), cuando la parte superior de la rueda esta inclinada hacia la

¹ <http://www.mecanicavirtual.org/direccion-geometria.htm>

parte exterior, lo que por condiciones de diseño se obtiene cuando el vehículo está abordado por dos o tres personas.

Para un mejor desgaste de las ruedas y una menor resistencia a la rodadura, es recomendable un ángulo de caída ligeramente positivo. En la figura 1-4 se puede comprobar cuál es la variación de la caída para los tipos de suspensiones de cuadrilátero o paralelogramo y tipo McPherson. Se puede advertir la ventaja de la suspensión de paralelogramo que varía de ángulo de negativo a positivo justo en la posición neutra, sin embargo, en la columna McPherson el efecto no se produce de la misma forma.

Fig 1-3: “Ángulo de Caída en un vehículo con suspensión independiente”

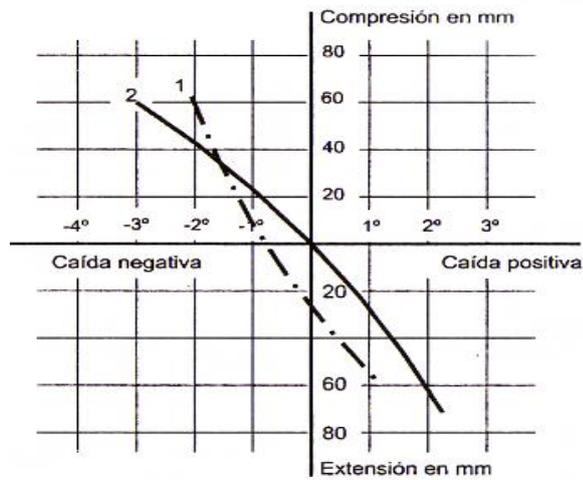


Fuente: www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/angulo-caida-real.jpg, revisado el 3-Abril-

2011

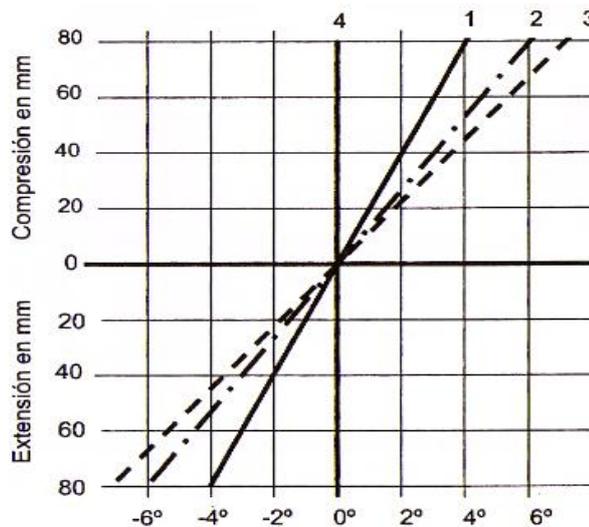
De todas maneras, en este tipo de estructuras la rueda toma un ángulo positivo menor en la extensión de la suspensión; esto supone una mayor absorción de fuerzas laterales en la rueda interior de paso por la curva, sobre todo en el vehículo con poca carga.

Fig 1-4: “Variación de la caída en función del movimiento de la rueda para (1) suspensión tipo McPherson y (2) suspensión de paralelogramo”



Fuente: Ingeniería del Automóvil, pág 236, revisado el 4-Abril-2011

Fig 1-5: “Variación de la caída respecto al suelo para cuatro tipos de suspensiones posteriores: 1, semi-independiente; 2, McPherson; 3, Brazos Longitudinales; 4, Eje Rígido”



Fuente: Ingeniería del Automóvil, pág 237, revisado el 4-Abril-2011

La caída da lugar a la aparición de una fuerza estática en la interacción con el suelo que es inferior a la originada por la deriva, “*siendo necesario 6° de caída para tener la misma fuerza lateral que 1° de deriva*”.² “*La caída varía con los movimientos de balanceo en las curvas (Figura 1-5), y sus valores para los distintos tipos de suspensiones son:*

² Ingeniería del Automóvil, Editorial Thompson, Madrid, 2004 pag 273

- *Brazos longitudinales: 1,05*
- *McPherson: 0,8*
- *Semiindependiente: 0,55*
- *Eje rígido: 0”³*

1.3.2 Angulo de Convergencia

Se conoce como convergencia o paralelismo de las ruedas delanteras (Fig 1-6), a la posición que ocupan las dos ruedas con respecto al eje longitudinal del vehículo. Este valor se mide en milímetros y es la diferencia de distancia existente entre las partes delanteras y traseras de las llantas a la altura de la mangueta. En los vehículos con propulsión posterior, la resistencia a la rodadura de las ruedas delanteras crea un par que tiende a abrir ambas ruedas, consiguiendo un mejor rendimiento en curva, pues la rueda interna tendrá un mayor ángulo de giro que la externa pero a costa de perder estabilidad al avanzar en línea recta; para compensar este efecto, se contrarresta con un ángulo de convergencia positivo (Figura 1-9). “*Su valor está entre 1 y 10 mm*”.⁴

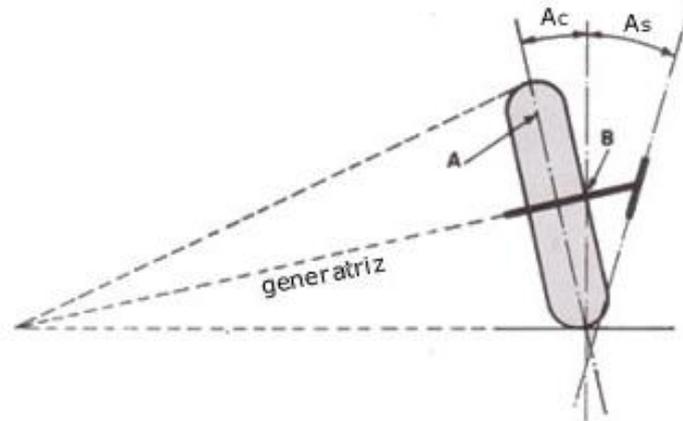
En el caso de vehículos con tracción delantera, el problema es distinto, pues el esfuerzo de tracción de las ruedas produce un par que tiende a cerrar las ruedas en vez de abrirlas, por consiguiente para compensar esta tendencia será necesario dar a las ruedas un ángulo de convergencia negativo (divergencia) (Figura 1-9). Con una correcta divergencia se facilita mantener la trayectoria recta del vehículo ante cualquier irregularidad del camino, pues las ruedas tienden a regresar por si solas. “*Su valor está entre 0 y -2 mm*”⁵. Una Convergencia excesiva provoca un desgaste en la banda exterior de los neumáticos, mientras que con una exagerada divergencia se ve afectada la parte interna.

³ Ingeniería del Automóvil, Editorial Thompson, Madrid, 2004 pag 272

⁴ <http://www.mecanicavirtual.org/direccion-geometria.htm>

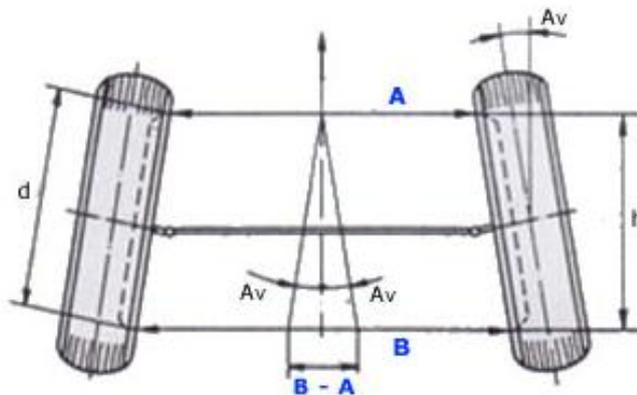
⁵ <http://www.mecanicavirtual.org/direccion-geometria.htm>

Fig 1-6 “Cono” que se forma como prolongación de la mangueta



Fuente: img.webme.com/pic/t/todomecanicaautomotriz/050.jpg, revisado el 3-Abril- 2011

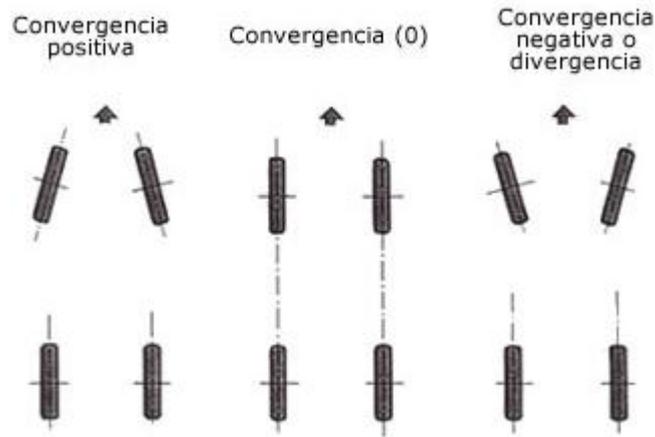
Fig 1-7: “Convergencia o paralelismo de las ruedas”



Fuente: www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/angulo-convergencia.jpg, revisado el 3-Abril- 2011

El que el valor de la convergencia pueda ser positivo o negativo (divergencia), (figura 1-8), depende de los valores que tengan los ángulos de caída, salida y, además, de que el vehículo sea de tracción delantera o propulsión posterior; cada vehículo tiene diferentes valores de tolerancia para calibrar la convergencia.

Fig 1-8: “Convergencia positiva, neutra y divergencia en las ruedas”



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/convergencia-tipos.jpg>, revisado el 4-

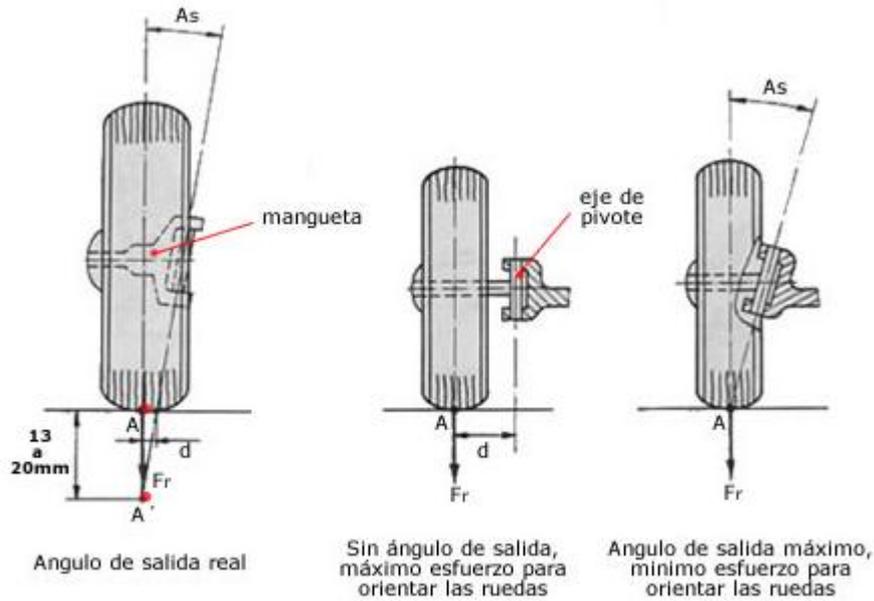
Abril- 2011

1.3.3 Ángulo de pivote o ángulo de salida.

Es el ángulo que forma el eje de la articulación de la mangueta con el plano vertical, visto el vehículo de frente. Es decir, los ángulos de salida y caída están en el mismo plano; “su función principal es la de reducir el esfuerzo necesario en el volante para orientar las ruedas, dependiendo directamente de la distancia "d" (figura 1-9). Cuanto menor sea "d" menor será el esfuerzo a realizar con el volante para orientar las ruedas. Este esfuerzo será nulo cuando el eje del pivote pase por el punto "A", centro de la superficie de contacto del neumático con el suelo. En este caso solo habría que vencer el esfuerzo de resistencia de rodadura (F_r) correspondiente al ancho del neumático, ya que el par de giro sería nulo. En la práctica "d" no puede ser cero ya que, entonces la dirección se volvería inestable. Este ángulo suele estar comprometido entre 5 y 10°, siendo en la mayoría de los vehículos de 6 a 7°.”⁶

⁶ <http://www.mecanicavirtual.org/direccion-geometria.htm>

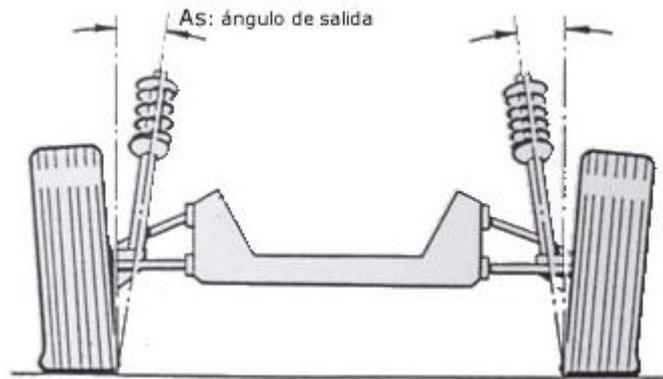
Fig 1-9: “Angulo de Salida y sus efectos sobre la orientación de las ruedas”



Fuente: www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/angulo-salida.jpg, revisado el 6-Abril- 2011

Al momento de curvar, la inclinación del eje del pivote sobre el que gira la rueda hace que ésta tienda a hundirse en el suelo, y al no poder hacerlo, es la carrocería la que se levanta, oponiéndose a esta acción el propio peso del vehículo, por lo que al soltar el volante, el peso de la carrocería tiende a bajar y hará que al salir de una curva las ruedas vuelven a su posición en línea recta gracias a la inclinación del eje del pivote (figura 1-10), minimizando además el efecto de las irregularidades de la carretera en el sistema de dirección. Es muy importante una correcta presión de inflado de los neumáticos, pues con una presión insuficiente, el punto "A'" (figura 1-9) se desplaza más hacia abajo, aumentando la distancia "d" y, por tanto, el esfuerzo para girar las ruedas.

Fig 1-10: “Angulo de Salida en un vehículo con suspensión independiente”



Fuente: www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/angulo-salida-real.jpg, revisado el 6-Abril-2011

1.3.4 Angulo de Avance

“Es el ángulo (Aa) que forma la prolongación del eje del pivote con el eje vertical que pasa por el centro de la rueda y en el sentido de avance de la misma., su valor suele estar comprendido entre 0 y 4° para vehículos con motor delantero y de 6 a 12° para vehículos con motor en la parte posterior”⁷. El ángulo de avance debe ser tal, que cumpla la misión encomendada sin perturbar otras condiciones direccionales

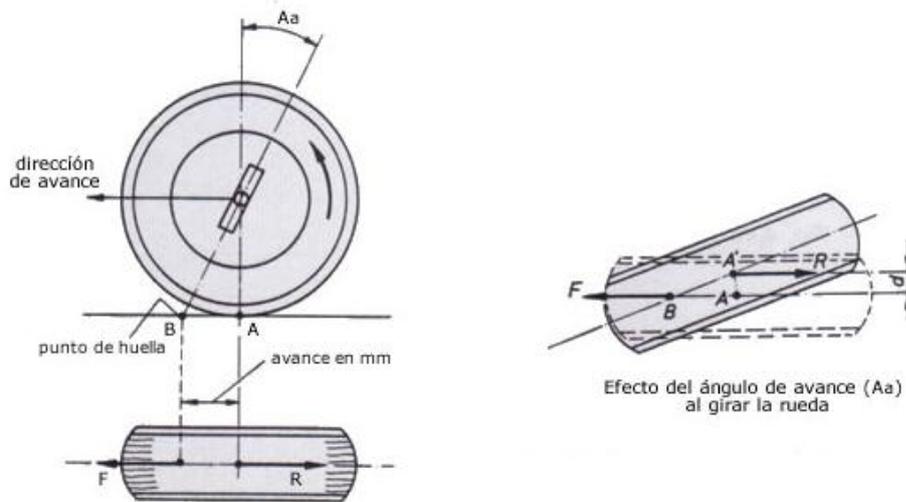
En los vehículos de tracción posterior se le da a los pivotes del eje delantero un cierto ángulo de avance (Aa) para evitar inestabilidades en la dirección, (Figura 1-11), de forma que su eje corte a la línea de desplazamiento un poco por delante del punto (A) de apoyo de la rueda. De esta manera se consigue la aparición de una acción de remolque en la propia rueda que da firmeza a la dirección, haciendo que el punto (A) de apoyo tienda a estar siempre en línea recta y por detrás de (B) punto de impulsión.

“Cuando se gira la dirección para tomar una curva, la rueda se orienta sobre el punto (B) fijado para el avance: esto hace que el punto (A) se desplace hasta (A'), creándose un par de fuerzas que tiende a volver a la rueda a su posición de línea

⁷ <http://www.mecanicavirtual.org/direccion-geometria.htm>

recta ya que, en esta posición, al ser ($d = 0$), desaparece el par”⁸. Si el ángulo de avance es grande, el par creado también lo es, haciendo que las ruedas se orienten violentamente. Si el ángulo es pequeño o insuficiente, el par de orientación también lo es, resultando una dirección inestable. Un avance positivo (figura 1-12), estabilizará las ruedas directrices en el caso de frenada, teniendo en cuenta que es el caso más desfavorable, ya que los esfuerzos de tracción son habitualmente inferiores.

Fig 1-11: “Ángulo de Avance y sus efectos sobre la orientación de las ruedas”



Fuente: www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/angulo-avance.jpg, revisado el 6-Abril-

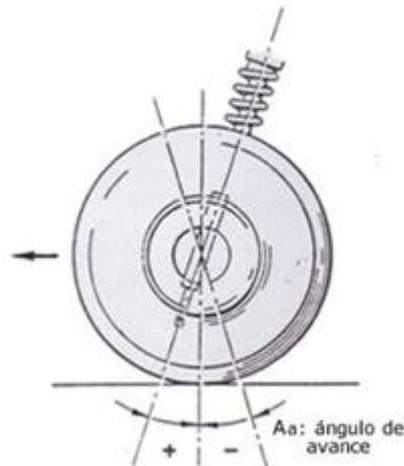
2011

Por efectos de carga dinámica, el conjunto de ángulos de dirección se ven modificados. Para conseguir modificaciones casi despreciables debido a efectos dinámicos en los distintos sistemas de suspensión existen diversas soluciones, siendo una de ellas la de incrementar la carga en la parte posterior del vehículo, con lo que se produce una alteración respecto a la posición del coche sin carga, “la misma que podrá llegar a variaciones del ángulo de oscilación de las ruedas en el eje longitudinal del vehículo respecto al plano horizontal entre 1 y 2,5 °”⁹ (ángulo de cabeceo)

⁸ <http://www.mecanicavirtual.org/direccion-geometria.htm>

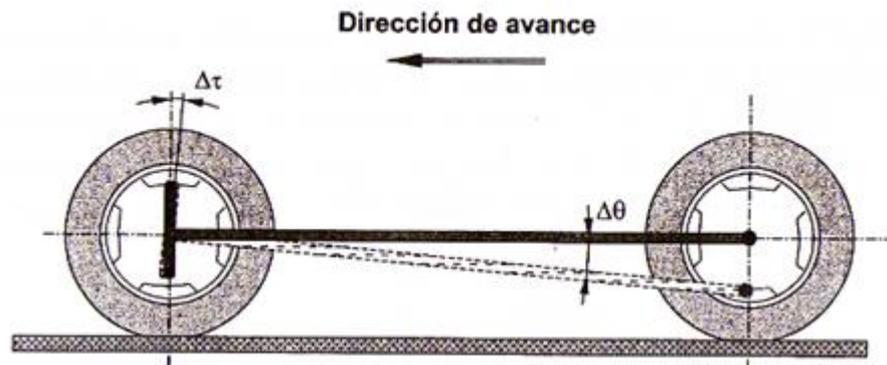
⁹ <http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/cabeceo-definicion-significado/gmx-niv15-con193305.htm>

Fig 1-12: “Angulo de Avance en un vehículo con suspensión independiente”



Fuente: www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/angulo-avance-real.jpg, revisado el 11-Abril- 2011

Fig 1-13: Cuando el vehículo se carga, la parte posterior se “hunde” más que la delantera, y el ángulo de avance se incrementa en la misma medida.



Fuente: Ingeniería del Automóvil, pág 281, revisado el 2-Abril-2011

“Las tolerancias que se requieren suelen estar en $\pm 30'$, pero por motivos de reducción de costes de fabricación se admiten $\pm 1^{\circ} 30'$. El valor que se debe tener muy en cuenta es el de no superar los $30'$ de diferencia entre las ruedas de un mismo eje para evitar que el vehículo se desvíe lateralmente”¹⁰.

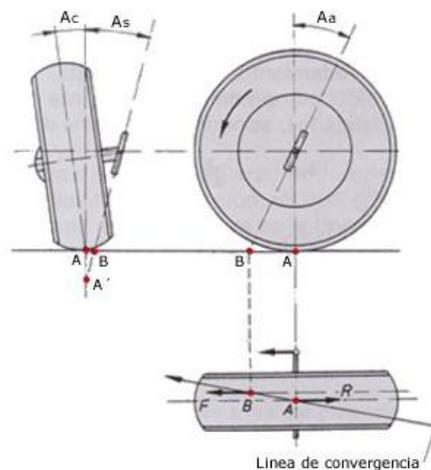
¹⁰ Ingeniería del Automóvil, Editorial Thompson, Madrid, 2004 pag 282

1.3.5 Cotas conjugadas

“Las cotas de salida y caída (figura 1-14), hacen que el avance corte a la línea de desplazamiento por delante y hacia la derecha de punto (A). De ello resulta que, para vehículos de propulsión posterior, el empuje que se transmite al eje delantero pasa de éste a la rueda por el pivote, teniendo su punto de tiro en la rueda sobre el punto (B). Como la resistencia de rodadura actúa sobre su punto de apoyo (A), resulta un par de fuerzas que tiende a abrir la rueda por delante, debiendo dar una convergencia a la rueda para corregir esta tendencia.

La convergencia será tanto mayor cuanto más adelantado y hacia la derecha se encuentre el punto (B). Esta posición viene determinada por los ángulos de caída, salida y avance, lo que quiere decir que la convergencia depende directamente de estas tres cotas”.¹¹

Fig 1-14: “Cotas conjugadas y sus efectos sobre la orientación de las ruedas”



Fuente: www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/angulo-cotas-conjugadas.jpg, revisado el 6-

Abril- 2011

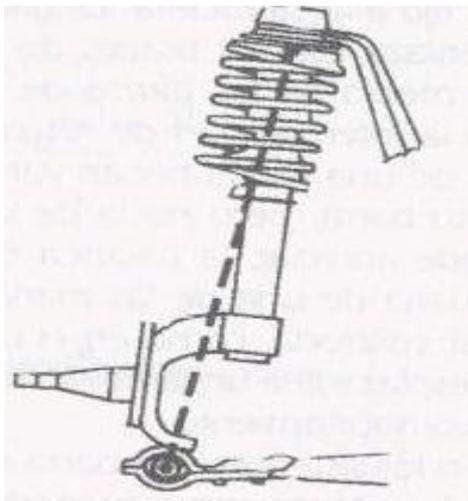
1.4 Dirección mediante Giro de Manguetas del eje

“En las suspensiones delanteras tipo MacPherson, que son las más utilizadas en los vehículos de nuestro medio, (figura 1-15), la mangueta va unida por la parte

¹¹ <http://www.mecanicavirtual.org/direccion-geometria.htm>

superior al amortiguador y por la parte inferior a la rótula, de modo que el eje imaginario alrededor del que gira la mangueta es la línea que une la torre del amortiguador con la carrocería y el centro de la rótula inferior”.¹²

Fig 1-15: “Eje imaginario de giro de la mangueta en una suspensión tipo Mac Pherson”



Fuente: Manual Ceac del Automóvil, pág 685, revisado el 7-Abril-2011

1.5 Mando de la Dirección.

Los elementos de mando de la dirección son: la caja de dirección o de engranajes, el árbol de la dirección y el volante; estos elementos trabajan conjuntamente con la finalidad de orientar las ruedas sin que el conductor sienta golpes o intermitencias al momento de girar el volante.

La fuerza necesaria para orientar las ruedas depende, principalmente, de la carga que pesa sobre cada rueda y del espesor del neumático en contacto con el suelo, pues a mayor superficie de contacto mayor será la resistencia al giro de la dirección, resultando una conducción incómoda y si ésta es prolongada conlleva al agotamiento. Como la fuerza a aplicar para orientar las ruedas es considerable, mediante los elementos de mando se logra una desmultiplicación para adaptarla a las necesidades del conductor.

¹² Ingeniería del Automóvil, Editorial Thompson, Madrid, 2004

“La desmultiplicación de una dirección es la relación entre el ángulo girado por el volante y el ángulo de orientación correspondiente en las ruedas. Su valor suele estar comprendido entre 20/1 y 25/1 en las direcciones sin asistencia, y entre 15/1 y 20/1 en las asistidas. Una desmultiplicación de 20/1 supone que con una vuelta del volante (360°) las ruedas giren $360/20 = 18^\circ$, o sea, 20 veces menos, y también que la fuerza que llega a la caja de la dirección desde el volante se multiplique por 20 en las ruedas”¹³.

El diámetro del volante desempeña una función muy importante en el esfuerzo a realizar por el conductor. Un volante grande disminuye el esfuerzo pero resulta incómodo para el conductor, mientras que un volante pequeño puede resultar pesado para mover la dirección con el vehículo estacionado.

Al momento de conducir, no se sabe en qué momento será necesario realizar una maniobra no programada, por ello la dirección debe responder instantáneamente a cualquier corrección que el conductor realice sobre el volante y es con esa finalidad que en los automóviles veloces tipo medio o grande se montan direcciones asistidas, que proporcionan una respuesta rápida con poco esfuerzo por parte del conductor.

1.5.1 Caja de la Dirección

En la caja de dirección de cremallera, la misma cremallera forma parte de la barra de acoplamiento y mueve, por medio de dos tirantes, a los brazos del mismo nombre. La caja de la dirección va fijada a la carrocería o al bastidor mediante tornillos y debe trabajar sin ningún tipo de holguras para evitar recorridos muertos en el volante.

1.5.1.1 Caja de Dirección de Cremallera

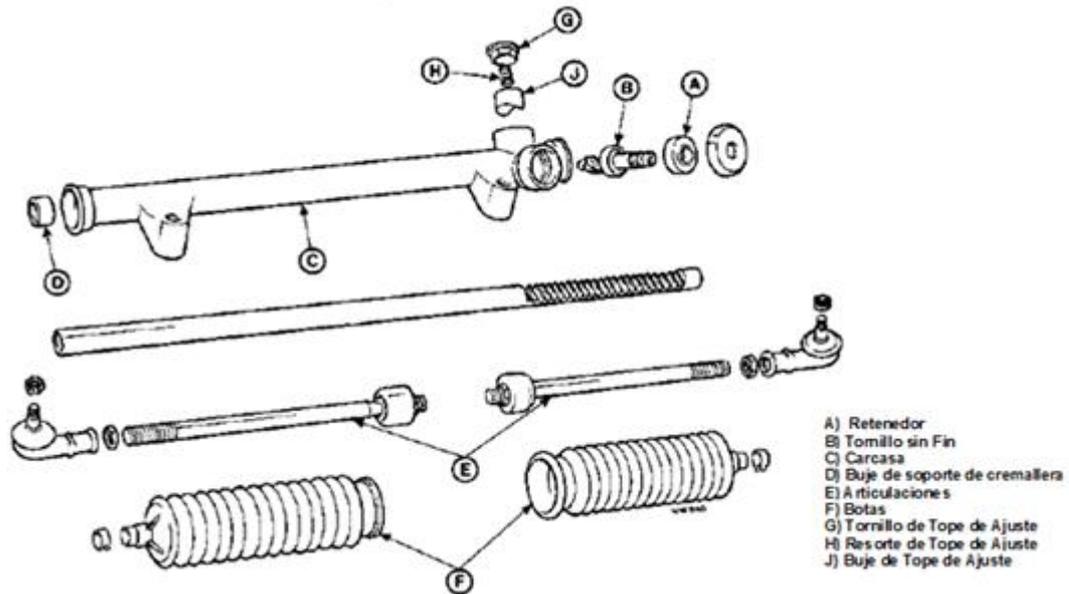
La caja de dirección de cremallera es de concepción sumamente sencilla y de fabricación económica. Como va unida directamente a los brazos de acoplamiento, y ella misma asume la función de barra de acoplamiento se suprimen muchos elementos necesarios en otros sistemas como son: el brazo de mando, la biela, la palanca de ataque y la barra de acoplamiento clásica. Además, el sistema de dirección de cremallera requiere de poco espacio para ser instalado, algo muy

¹³ Manual Ceac del Automóvil, Ediciones CEAC, S.A. España, 2004, pág 688.

tomado en cuenta sobre todo en los vehículos tracción delantera. Por ser un sistema que brinda suavidad, precisión, seguridad y pocos cuidados que necesita, es utilizado en la mayor parte de automóviles de turismo en la actualidad.

En la figura 1-16 se ve el despiece del sistema de dirección de cremallera

Fig 1-16: Despiece de una dirección de cremallera



Fuente: <http://www.vagclub.com>, revisado el 15-Abril-2011

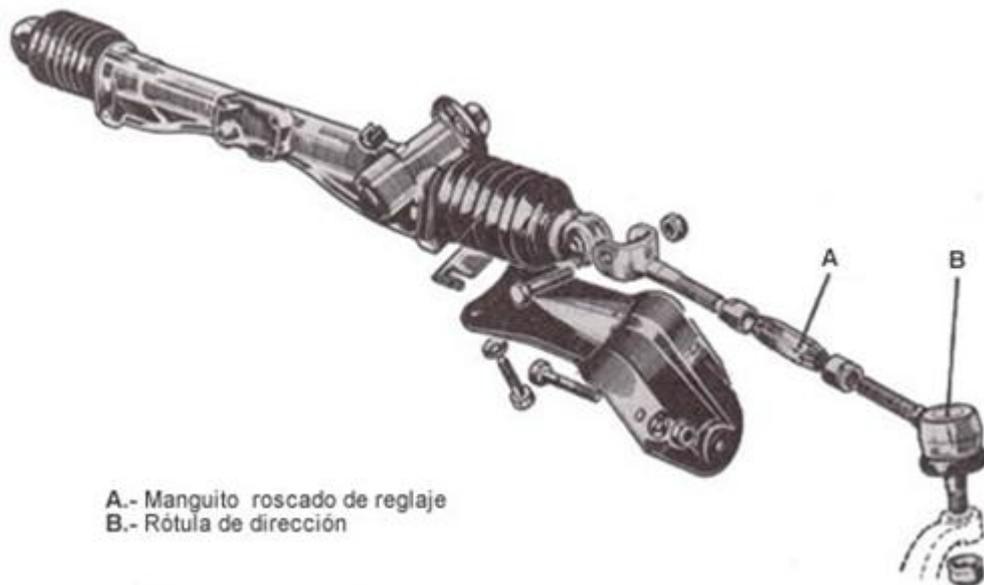
Al girar el volante, el movimiento se transmite por la columna de dirección al piñón de la cremallera y desde este hacia la barra de la cremallera, generando el movimiento a las ruedas a través de las articulaciones. Para permitir el movimiento ascendente y descendente de las ruedas, éstas se unen a las articulaciones por medio de una rótula (Figura 1-17); y a través del manguito roscado (A) se regula su convergencia.

1.5.1.2 Sistema de reglaje en el mecanismo de cremallera

Existen varios sistemas de reglaje de la holgura piñón cremallera, pero el más común es ilustrado en la figura 1-18. Para mantener la holgura correcta entre el piñón (1) y la cremallera (2), su reglaje se realiza por medio de un empujador (6) y un tornillo de reglaje (7) que rosca en una pletina fija (8) con un tornillo (9) a la carcasa. Una vez

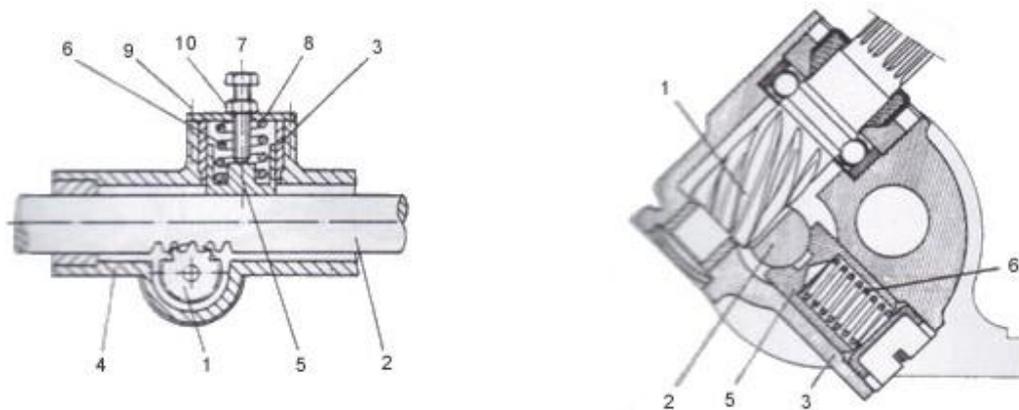
graduada la holgura entre el piñón y la cremallera, se bloquea la posición por medio de la contratuerca (10).

Fig 1-17: “Sistema de reglaje de la dirección”



Fuente: www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/reglaje-direcc.jpg, revisado el 6-Abril-2011

Fig 1-18: “Dispositivos de reglaje de holgura de cremallera”



Fuente: www.aficionadosalamecanica.com/images-direcc/reglaje-holgura.jpg, revisado el 6-Abril-

1.6 Ventajas y Desventajas de la Dirección Piñón – Cremallera respecto a otros tipos de Dirección:¹⁴

1.6.1 Ventajas

- Fabricación sencilla y económica.
- Funcionamiento eficaz.
- Contacto libre entre piñón y cremallera con posible amortiguamiento interno.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil puesta a punto en caso de existir una excesiva holgura en el movimiento del volante.

1.6.2 Desventajas

- Se generan tensiones significativas debido a fuerzas angulares en la bieleta.
- Mucha sensibilidad en el volante ante perturbaciones externas o impactos, aunque puede ser disminuida con la incorporación de servosistemas hidráulicos.
- En algunas ocasiones, la longitud de la bieleta es demasiado corta cuando se conecta directamente a la cremallera, dando como resultado fuerzas elevadas en el sistema.
- El ángulo de giro de las ruedas directrices depende del movimiento de la cremallera.
- No puede usarse un eje rígido, pues la cremallera no está diseñada para absorber las oscilaciones de la suspensión.

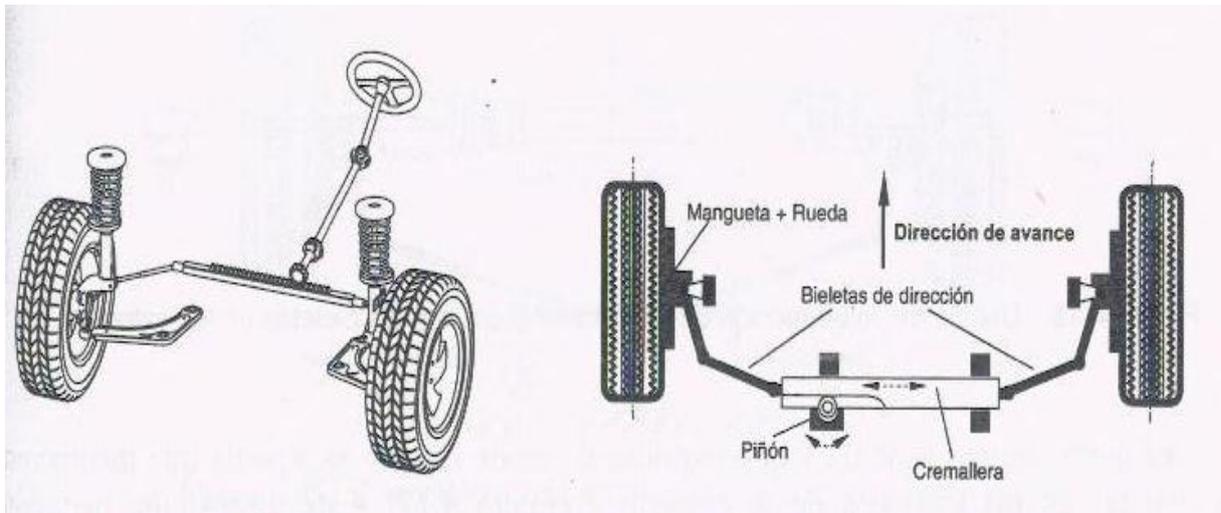
Las bieletas de dirección pueden ir ubicadas tanto a los extremos como al centro de la cremallera, siendo la configuración más sencilla y la que requiere menor espacio aquella que lleva las bieletas en los extremos; teniendo en cuenta que el piñón puede estar situado en una posición centrada o no respecto al vehículo.

En la figura 1-19 se muestra una dirección piñón cremallera con bieletas a los extremos, donde la unión entre la columna y el piñón están alineados y unidos por

¹⁴ Ingeniería del Automóvil, Editorial Thompson, Madrid, 2004

una junta tipo cardán, lo que permite la flexión del eje de la dirección en caso de accidente. En estos sistemas, la posición de la bieleta de dirección viene dada por la ubicación de la cremallera, y la cinemática será función del movimiento de la rótula de enlace.

Fig 1-19: “Dirección de piñón cremallera con las bieletas en los extremos”

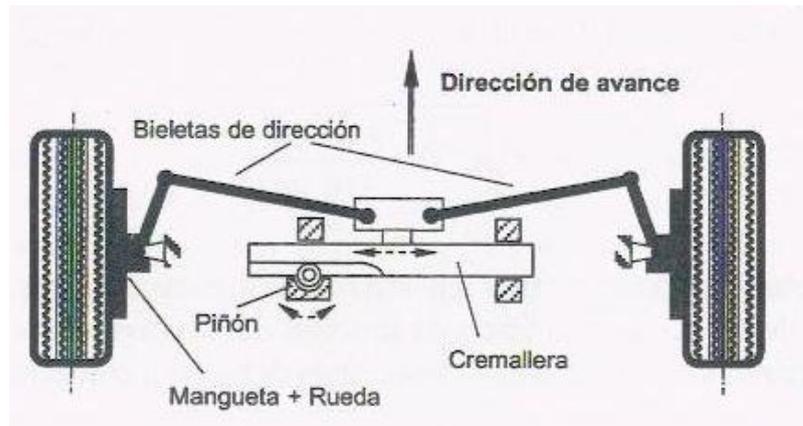


Fuente: Ingeniería del Automóvil, pág 253, revisado el 2-Abril-2011

En vehículos con suspensiones tipo McPherson, donde la caja de dirección tenga que ubicarse en una posición elevada, las bieletas van ubicadas al centro de la cremallera (Figura 1-20). En muchos casos la rótula interior se une directamente a la cremallera y en otros a un elemento aislante. Cuando la suspensión se extiende o se comprime y/o cuando las ruedas giran, las bieletas toman un determinado ángulo. La distancia efectiva entre la rótula y la línea central de la cremallera da lugar a un brazo que podría hacer que la dirección girase. Para evitar estos efectos habrá que disponer de un sistema adecuado de guiado de la cremallera.

Existen diferentes soluciones para materializar el sistema de dirección, una de ellas es con el triángulo de dirección que puede estar delante (figura 1-22), detrás (figura 1-21) o a la misma altura de la cremallera. Los brazos de dirección dispuestos hacia fuera, permiten una bieleta más larga.

Fig 1-20: “Dirección piñón cremallera con las bieletas unidas al centro”



Fuente: Ingeniería del Automóvil, pág 255, revisado el 2-Abril-2011

Fig 1-21: “Piñón cremallera situado por delante del eje de la rueda y con los brazos por detrás”

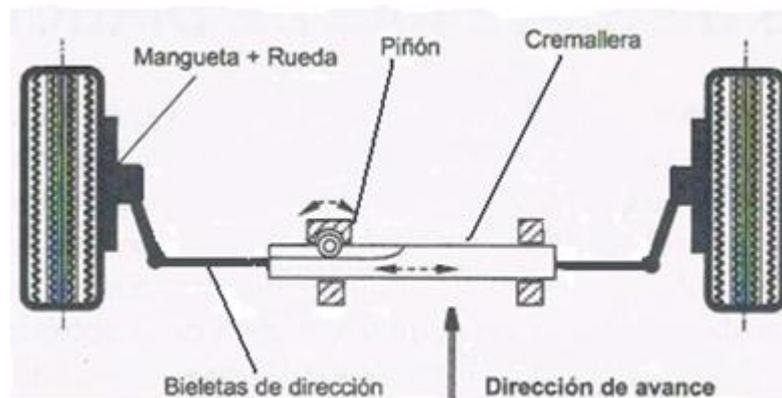
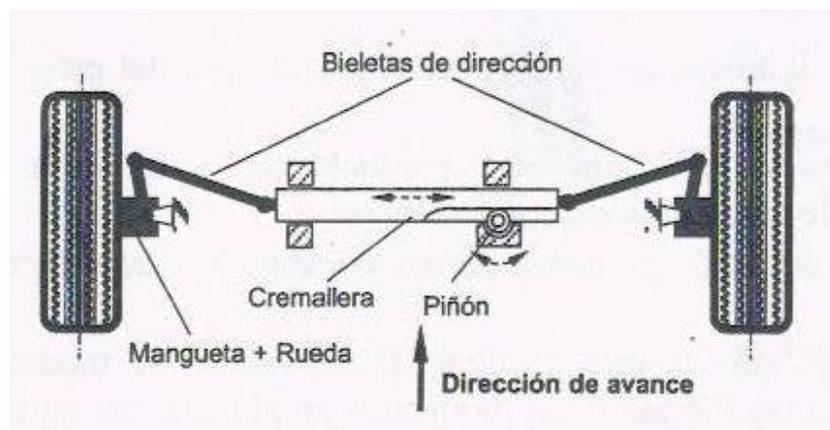


Fig 1-22: “Piñón cremallera y brazos situados por delante del eje de la rueda”

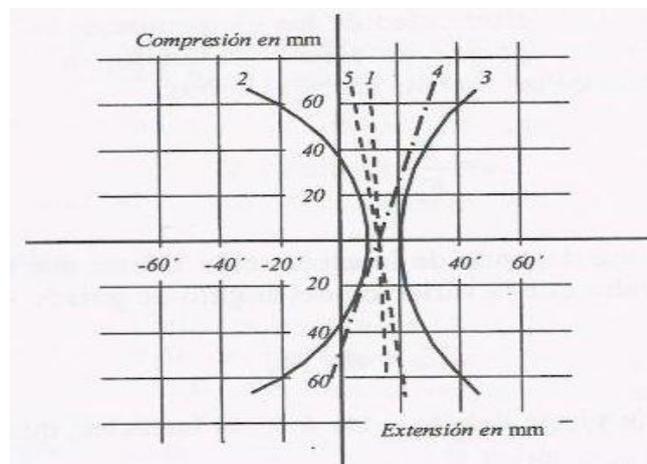


Fuente: Ingeniería del Automóvil, pág 255, revisado el 2-Abril-2011

1.7 Influencia de la Cinemática de la Suspensión y la Dirección

El continuo movimiento de la suspensión en el vehículo ocasiona que el ángulo de guiado se modifique, y como consecuencia de ello se pierde estabilidad, aumenta la resistencia a la rodadura y los neumáticos se desgastan rápidamente. La variación del ángulo de guiado puede darse también por utilizar brazos de suspensión y dirección de diferente longitud y posición respecto a los originales del vehículo.

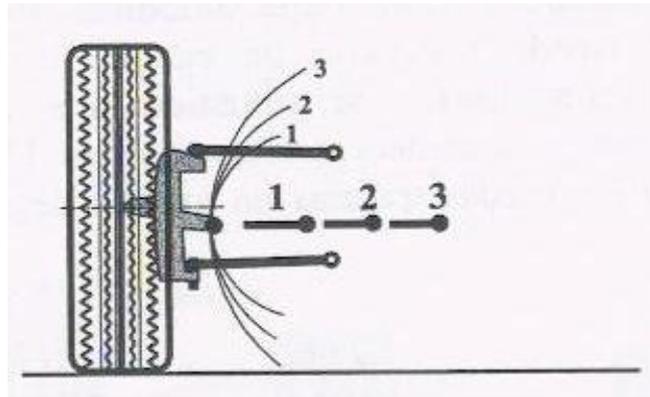
Fig 1-23: “Variación del ángulo de guiado con los movimientos de la rueda para diferentes longitudes de la bieleta de dirección”



Fuente: Ingeniería del Automóvil, pág 261, revisado el 3-Abril-2011

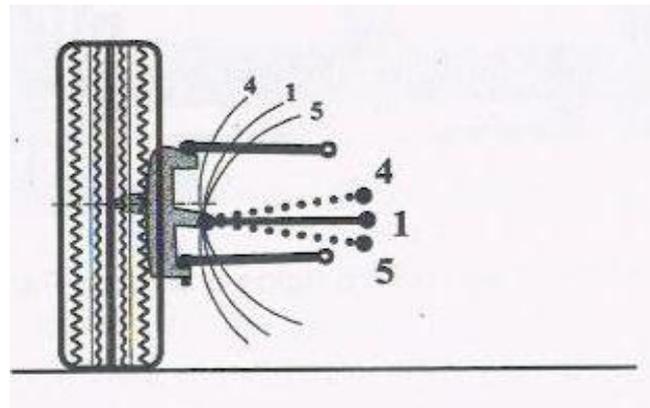
Como se puede ver en las figuras 1-23 y 1-24, el punto 1 es la posición óptima de la bieleta, tanto en longitud como en altura; la utilización de una bieleta demasiado corta (punto 2), provoca que la rueda se incline hacia el interior produciendo un mayor ángulo de giro; con una bieleta muy larga el efecto es el contrario, es decir, la rueda se inclina hacia el exterior (punto 3); las rectas 4 y 5 indican que la longitud de la bieleta es correcta, pero su punto de articulación es demasiado bajo y demasiado alto respectivamente.

Fig 1-24: “Restricción del movimiento en función de la longitud de la bieleta de dirección”



Fuente: Ingeniería del Automóvil, pág 261, revisado el 3-Abril-2011

Fig 1-25: “Variación de la trayectoria de la rueda en función de la posición de la articulación interior”



Fuente: Ingeniería del Automóvil, pág 261, revisado el 4-Abril-2011

1.8 Frenado

En función del tren directriz, existen fuerzas que pueden o no modificar el ángulo de guiado de acuerdo a las necesidades al momento de frenar el vehículo. En general, los sistemas de suspensión y dirección se diseñan para que el vehículo se estabilice en frenado. Al desacelerar, la carrocería sufre un movimiento de cabeceo que hace “hundirse” la parte delantera, es decir, aparece una transferencia de carga hacia el eje anterior. Al mismo tiempo, aparecen fuerzas en el contacto del neumático con la superficie de rodadura que son contrarias al avance.

1.9 Averías en el Sistema de Dirección Mecánico de Cremallera

La configuración de los vehículos hace que el mecanismo de dirección, las ruedas, frenos y suspensión formen un conjunto en el que cada parte depende a su vez del estado o funcionamiento de las otras. Por esta razón, a veces, en las posibles averías de la dirección, un mismo síntoma puede estar provocado por el mal funcionamiento de otras partes del vehículo. Las averías más frecuentes y sus posibles causas son:

1.9.1 Dureza de la Dirección

A velocidad elevada se requiere menor esfuerzo para mover la dirección, por lo que la dureza de la misma se revela a bajas velocidades o con el vehículo detenido; ante esta situación, lo primero a verificar es que los neumáticos estén con la presión suficiente de inflado. Otras posibles causas son:

- Falta de engrase en las diferentes partes mecánicas de la dirección.
- Muelles de la suspensión vencidos o flojos.
- Ángulo de caída desigual en las ruedas.
- Algún golpe en una articulación que provoque fricción en la misma.

1.9.2 Desviaciones

Es un problema muy frecuente que al manejar en línea recta y aflojar las manos del volante el vehículo se desplaza hacia un lado, pudiendo fácilmente perder el control del mismo y ocasionar accidentes que pueden causar daños a terceros; esta avería se puede dar por:

- Presión desigual en los neumáticos delanteros o por llevar un neumático con mayor desgaste o de diferente medida en una de las ruedas.
- Diferencia en el ajuste de las cotas de dirección entre una rueda y la otra.
- Elementos de suspensión en mal estado
- Los golpes en veredas o baches provocan una desviación en la mangueta.

1.9.3 Holgura en el mecanismo de Dirección

Es normal que con el vehículo detenido exista una pequeña holgura en el volante al girarlo de izquierda a derecha, pero cuando ésta es excesiva afecta en el

comportamiento direccional, manifestándose como un golpeteo al entrar en curvas o baches, que puede ser producido por rótulas en mal estado o por una mala sujeción de la caja de dirección.

1.9.4 Oscilación en el volante

Se manifiesta con una vibración en las ruedas delanteras que se percibe en el volante principalmente a altas velocidades, provocando inseguridad en la conducción. Puede ser causado por falta de balanceo de las ruedas, inflado desigual, holguras en articulaciones, avance incorrecto de la dirección, amortiguación defectuosa.

1.10 Mantenimiento

Cualquier ruido extraño en el vehículo debe ser diagnosticado y reparado a tiempo, ya que al trabajar conjuntamente los componentes de suspensión y dirección, el daño de uno de ellos conlleva al deterioro de los demás, generando ruidos e inestabilidad, por lo que es recomendable alinear la dirección cada 10 000 Km, así como también balancear y rotar los neumáticos ya que el mal estado de las vías, baches y golpes en veredas o parterres, modifican los parámetros de los ángulos y la geometría de la dirección. Al rotar las ruedas se debe tener presente si éstas tienen o no sentido de rotación para su correcta ubicación y desempeño.

También se recomienda engrasar la cremallera y juntas homocinéticas cada 30 000 km. Además se debe verificar paulatinamente estado de los guardapolvos de las rótulas, pues si éstos se rompen, se pierde la lubricación de las juntas y disminuye su tiempo de vida útil. La falta de engrase en algún componente de la dirección o suspensión, golpes en algún pivote, mangueta o puente delantero, pueden ser causa de dureza en la dirección y tendencia del vehículo a irse a un lado.

Para brindar suavidad y seguridad en la conducción es muy importante el estado de las ruedas, su correcto equilibrio, presión de inflado y profundidad de labrado, el mismo que puede verificarse mediante medidores de desgaste que poseen todos los neumáticos y tienen como finalidad indicar la vida útil del mismo, por lo que se recomienda dar importancia a su mantenimiento.

La amortiguación y los frenos influyen también en el desempeño del sistema de dirección, pues el mal estado o desgaste incorrecto de las pastillas, tambores o discos de freno provocan oscilaciones al detener el vehículo, así como también unos amortiguadores defectuosos puede ser causa de dureza en la dirección o tendencia a irse hacia un lado.

CAPITULO II

COMPONENTES DEL SISTEMA EPS Y DISEÑO DE LA UNIDAD ELECTRONICA DE CONTROL

2.1 Cálculo de esfuerzos en la dirección

Dado que el sistema se adaptará de un vehículo a otro, fue necesario realizar un análisis de las fuerzas que se requieren para girar las ruedas tanto en el vehículo donante como en el vehículo receptor, con la finalidad de compararlas y establecer la afinidad entre ambos sistemas de dirección.

2.1.1 Cálculo de esfuerzos en la dirección en el vehículo BMW 320 modelo 1981

Para el análisis del esfuerzo generado en la dirección del vehículo BMW 320, se tomaron datos de la ficha de especificaciones técnicas del manual de la reparación del vehículo (Tabla 2-1), tales como la masa y su distribución sobre los ejes, a fin de calcular el esfuerzo necesario para girar los neumáticos. Adicional a esto los datos requeridos para el cálculo como son las dimensiones de los componentes de la dirección fueron obtenidos en base a mediciones realizadas en el vehículo.

Tabla 2-1: Manual del Usuario del vehículo BMW 320

Maintenance and general instructions		Specifications
Model		a) 320/6 b) 320/6 A
Unladen weight, empty (ready for road, tank full)	kg (lb)	a) 1115 (2458) b) 1130 (2491)
Permissible gross weight	kg (lb)	1550 (3417)
Permissible axle load	front kg (lb)	780 (1720)
	rear kg (lb)	840 (1852)

Fuente: Manual de Reparaciones BMW 320 del año 1981, pág. 7, revisado el 10-Junio-2012

Tabla 2-2: Traducción Manual del Usuario del vehículo BMW 320.

Mantenimiento e instrucciones generales		Especificaciones	
Modelo		a) 320/6 b) 320/6 A	
Peso sin carga (tanque lleno)	kg (lb)	a) 1115 (2458) b) 1130 (2491)	
Peso máximo autorizado	kg (lb)	1550 (3417)	
Carga admisible sobre el eje	delantero kg (lb)	780 (1720)	49.36%
	posterior kg (lb)	840 (1852)	50,64%

- Masa del vehículo cargado: $m = 1550$ kg. (Tabla 2-1)
- Distribución de masa en el vehículo: 49.36% en la parte delantera 50,64% en la parte posterior. (Tabla 2-2)
- Magnitud de mangueta: $a = 0,085$ m (Fig 2-1 y Fig 2-3)
- Magnitud de brazo: $b = 0.13$ m (Fig 2-2)
- Fricción caucho hormigón: $u = 0,9$ (Tabla 2-3)

Fig. 2-1. Distancia "a" BMW



Fig. 2-2. Distancia "b" BMW

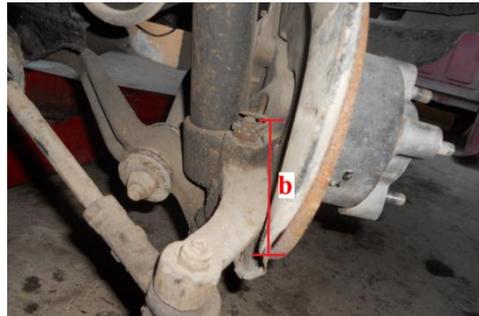


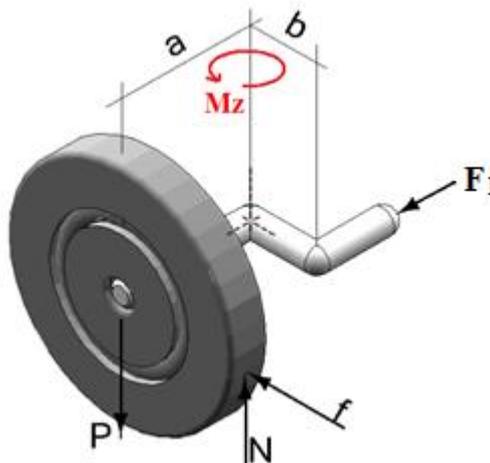
Tabla 2-3: Coeficientes de Rozamiento

COEFICIENTES DE ROZAMIENTO (μ)			
Terreno	Estado del terreno	Neumáticos	
		Nuevos	Viejos
Hormigón	Seco	0,9 - 0,7	0,6 - 0,4
	Mojado	0,6 - 0,4	0,4 - 0,3
Asfalto grueso	Seco	0,9 - 0,7	0,6 - 0,4
	Mojado	0,6 - 0,4	0,4 - 0,3
Asfalto normal	Seco	0,9 - 0,7	0,6 - 0,4
	Mojado	0,6 - 0,4	0,4 - 0,3
Barro		0,2	0,1
Hielo		0,1	0,1

Fuente: <http://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/cesvimap/ficheros/MRATExtracto.pdf>,
revisado el 12-Junio- 2012

En la Fig 2-3 se indican las distancias y fuerzas que actúan en un sistema de dirección al momento de girar el volante en uno u otro sentido, las mismas que se consideraron para el análisis de esfuerzos tanto en el sistema de dirección mecánico como en el electro asistido.

Fig 2-3. Distancias a considerar para el cálculo de esfuerzos en la dirección



- Peso en una rueda delantera.

$$P = \frac{(m*0,4936)*g}{2} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde:

P = Peso en una rueda delantera (N)

m = masa del vehículo cargado (kg)

g = gravedad (m/s^2)

$$P = 3748,89 \text{ N}$$

- Fuerza normal

$$P = N = 3748.89N \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde:

N = Normal (N)

- Fuerza de Fricción.

$$f = u * N \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Donde:

f = Fuerza de fricción (N)

u = Coeficiente de rozamiento (Tabla 2-3: neumático nuevo, hormigón seco)

$$f = 3374 \text{ N}$$

De la Figura 2-3 se obtiene el momento resultante en el eje z

$$\sum M_z = 0 \quad (\text{Fig 2-3})$$

$$F_1 * b - f * a = 0 \quad \text{Ecuación 2-4}$$

Donde:

F_1 = Fuerza necesaria para mover la rueda

b = Magnitud de brazo: 0,13m (Fig 2-2)

a = Magnitud de mangueta: 0,085m (Fig 2-1)

$$F_1 = 2206,07 \text{ N}$$

Empleando el mismo método se realizó el cálculo de la fuerza necesaria para mover la rueda del vehículo Toyota Yaris, con la finalidad de analizar los resultados que permitan valorar la diferencia entre dichas fuerzas y realizar los ajustes necesarios para la adaptación de la columna de dirección de Toyota al vehículo BMW. Los resultados obtenidos en los cálculos realizados se detallan en la Tabla 2-4:

2.1.2 Cálculo de esfuerzos en la dirección en el vehículo Toyota Yaris 2007

- Masa del vehículo cargado: $m = 1355$ kg (Fig 2-7)
- Distribución de masa en el vehículo: 52,77% en la parte delantera 47,23% en la parte posterior. (Fig 2-6)
- Magnitud de mangueta: $a = 0,065$ m (Fig 2-5)
- Magnitud de brazo: $b = 0.10$ m (Fig 2-4)
- Fricción caucho hormigón: $u = 0,9$ (Tabla 2-3)

Tabla 2-4 Resultados obtenidos en el vehículo Toyota Yaris

P (N)	m (kg)	N (N)	f (N)	u	F₁ (N)	b (m)	a (m)
3503,66	1355	1355	3503,66	0,9	2049,63	0,10	0,065
	Fig 2-7b			Tabla 2-3		Fig 2-4	Fig 2-5

Fig. 2-4 Distancia “b” Toyota

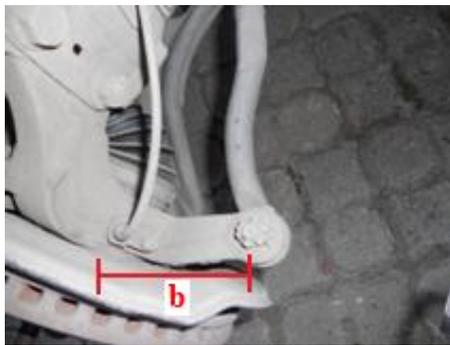


Fig. 2-5 Distancia “a” Toyota



Fig. 2-6 a) Peso sobre eje delantero



Fig. 2-6 b) Valor del peso sobre eje delantero



Fig. 2-7a) Peso total del vehículo cargado



Fig. 2-7b) Valor peso total del vehículo cargado



Para realizar los cálculos de la fuerza necesaria para mover las ruedas en los dos vehículos se utilizaron las dimensiones de los neumáticos originales de fábrica para cada uno de ellos, siendo la medida 185/70R13 para el BMW (Tabla 2-5), y 175/65R14 para el Toyota Yaris (Tabla 2-6).

Tabla 2-5. Medida original de neumático para el vehículo BMW 320

Tamaño Equipo Original (OE) para 1981 BMW 320i

Descripción	Tamaño
Tamaño original (O.E.):	185/70-13

VER TODOS
LOS NEUMÁTICOS
EN ESTE TAMAÑO

Fuente:

www.tirerackspanol.com/tires/SelectTireSize.jsp?autoMake=BMW&autoModel=320i&autoYear=1981&autoModClar=, revisado el 16-Junio- 2012

Tabla 2-6. Medida original de neumático para el vehículo Toyota Yaris

Tamaño Equipo Original (OE) para 2007 Toyota Yaris Hatchback



Toyota equipa su vehículo con más de un tamaño durante la producción. Por favor, escoja el tamaño instalado en su vehículo de las siguientes opciones.

Descripción	Tamaño
Tamaño original (O.E.) 1:	175/65-14

VER TODOS
LOS NEUMÁTICOS
EN ESTE TAMAÑO

Fuente:

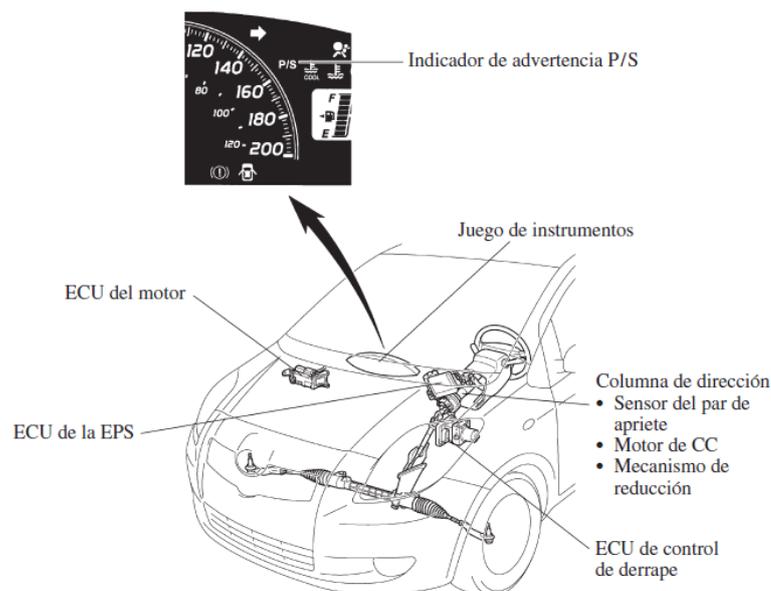
www.tirerackspanol.com/tires/SelectTireSize.jsp?autoMake=Toyota&autoModel=Yaris+Hatchback&autoYear=2007&, revisado el 16-Junio- 2012

Al comparar la fuerza necesaria para girar las ruedas en los dos vehículos, se determinó que existe una diferencia de 156,44 N siendo mayor en el vehículo BMW lo cual es aceptable ya que es un sistema de dirección mecánico de cremallera con una tecnología inferior. Esta diferencia comprende un valor del 7% tomando como referencia el máximo valor 2206,07 N por lo que se puede concluir que la adaptabilidad es viable, y más aún si se considera que se empleará la cremallera de dirección original del BMW que está diseñada para generar la fuerza requerida para girar las ruedas en este vehículo; lo que permite, al proporcionarle una fuerza de asistencia generada por el motor eléctrico sobre la columna de dirección, mayor suavidad y confort.

2.2 Estructura y funcionamiento de los compones del sistema EPS.

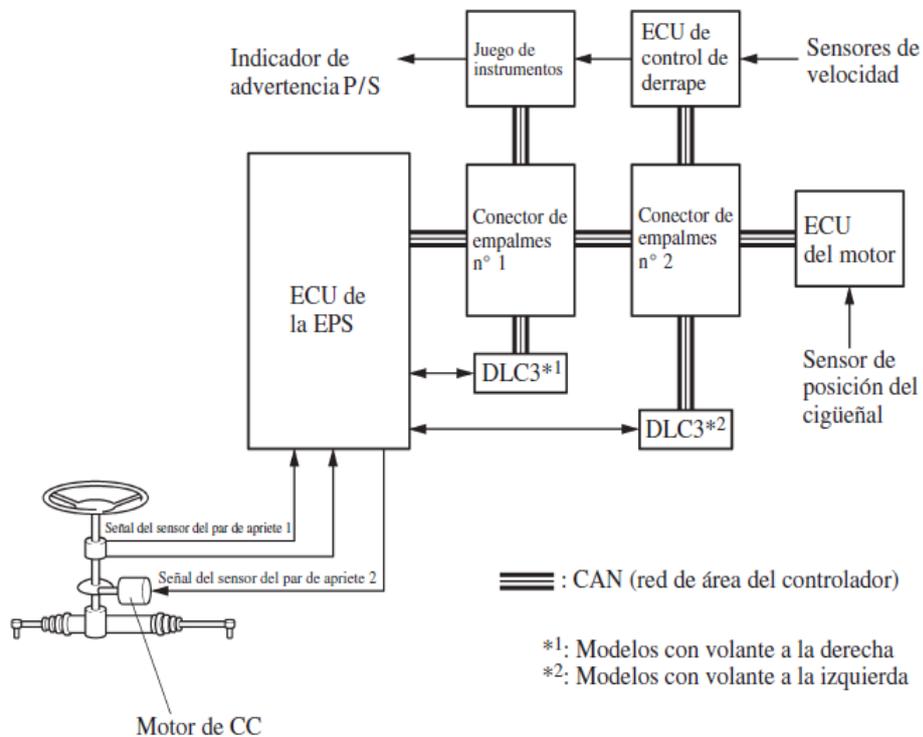
Para la implementación del sistema de dirección electro asistido (Fig. 2-8) en el vehículo BMW 320 modelo 1981, se empleó la columna de dirección del sistema EPS que equipa al vehículo Toyota Yaris Hatchback modelo 2007. En este sistema, en la columna de dirección se genera un par de torsión mediante un motor de corriente continua y un mecanismo de reducción, que tiene por objeto ayudar al conductor durante las maniobras de conducción.

Fig. 2-8. Distribución de los componentes de la EPS en el vehículo Toyota Yaris



El sistema EPS de Toyota trabaja conjuntamente con la ECU (Unidad Electrónica de Control), la cual proporciona información como la velocidad de marcha del vehículo y la del régimen de giro del motor de combustión interna, esta información es transmitida al computador o ECU de la EPS, donde también llega la información del sensor de par, dispuesto en la columna de dirección y en base a estos datos se calcula la fuerza de asistencia necesaria que deberá ejercer el motor para que la conducción del vehículo sea confortable. En la figura (Fig 2-9) se puede apreciar el diagrama de conexión de los componentes del sistema EPS del Toyota.

Fig. 2-9. Esquema de funcionamiento de la EPS



Fuente: Archivo digital Importadora Tomebamba, revisado el 5-Junio-2012

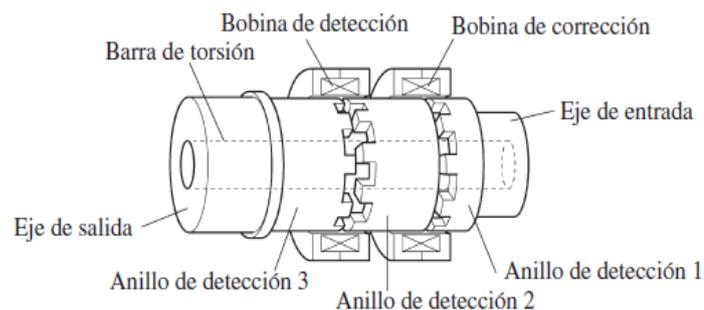
Dado que es muy importante comprender el funcionamiento de todos los componentes del sistema de dirección eléctrica del vehículo Toyota Yaris, a continuación se hace un breve análisis de cada uno de ellos, exponiendo los detalles más relevantes de los mismos.

2.2.1 Sensor del par de apriete

Ubicado en la columna de dirección, está compuesto por: una barra de torsión que une un eje de entrada y un eje de salida, tres anillos de detección, y, en la parte exterior de éstos, una bobina de detección y una bobina de corrección para cerrar el circuito de excitación sin hacer contacto. Este sensor detecta el giro de la barra de torsión al mover el volante (Fig. 2-11), calcula el par de apriete aplicado a la misma, lo transforma en una señal eléctrica y envía esta señal a la ECU de la EPS (Dirección Eléctrica Asistida).

El anillo de detección 3 está ubicado en el eje de salida; mientras que en el eje de entrada se sitúan los anillos de detección 1 y 2, y su función es revelar y corregir la desviación de la barra de torsión generada por los cambios de temperatura que tienen lugar en la bobina de corrección (Fig 2-10). *“La bobina de detección consiste en un circuito doble que genera dos señales, VT1 y VT2. La ECU controla la magnitud de asistencia en base a estas señales y, al mismo tiempo, detecta las averías del sensor.”*¹⁵

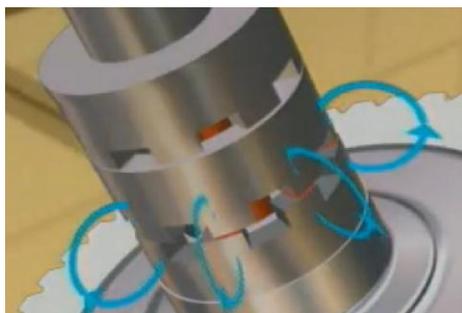
Fig. 2-10. Componentes del sensor de torque



Fuente: Archivo digital Impotadora Tomebamba, revisado el 5-Junio-2012

¹⁵ Archivo digital EPS Toyota Yaris 2007, Importadora Tomebamba

Fig. 2-11 Generación del campo magnético en el sensor de torque



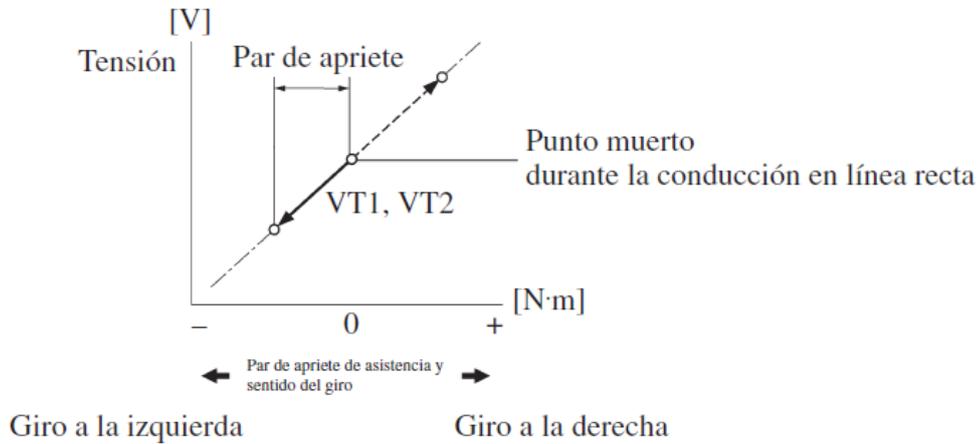
Fuente: www.youtube.com/watch?v=sJtjs3lthM4, revisado el 3-Junio-2012

Cuando se conduce en línea recta y no se gira el volante, la ECU de la EPS determina la tensión específica generada en ese momento para indicar la posición neutra del volante y de esta manera no aplica corriente al motor de CC para generar asistencia. *“Cuando el conductor gira el volante a la derecha o a la izquierda, el giro creado en la barra de torsión genera un desplazamiento relativo entre los anillos de detección 2 y 3. Este cambio se transforma en dos señales eléctricas, VT1 y VT2 que se envían a la ECU de la EPS.”*¹⁶

El sentido de giro se detecta de acuerdo con señales enviadas a la ECU de la EPS (Fig 2-12), siendo tensiones positivas en giros hacia la derecha, tensiones neutras al conducir en línea recta y tensiones menores que el punto muerto en giros a la izquierda. Además, la magnitud de la asistencia a la dirección se determina por la magnitud del valor de salida.

¹⁶ Archivo Digital EPS Toyota Yaris 2007, Importadora Tomebamba.

Fig. 2-12 Diagrama del sentido de giro

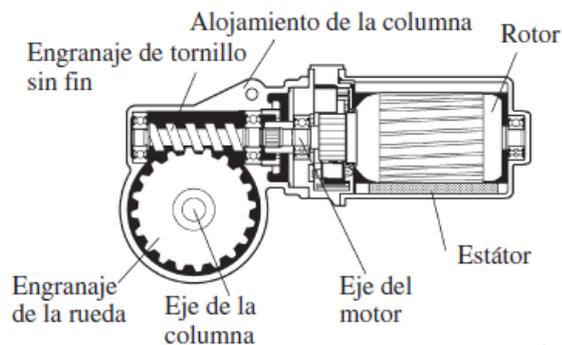


Fuente: Archivo digital Impotadora Tomebamba, revisado el 5-Junio-2012

2.2.2 Motor de corriente continua

El motor de corriente continua es el encargado de generar la servo asistencia de acuerdo con la señal que recibe de la ECU de la EPS. Puede girar en sentido horario o antihorario dependiendo si el giro es a la izquierda o derecha. Está compuesto por el rotor, el estator y el eje del motor (Fig 2-13). El par de apriete generado por el motor se transmite al eje de la columna a través del engranaje de la rueda, y de éste a través de la junta al engranaje de tornillo sin fin.

Fig. 2-13. Motor de corriente continúa

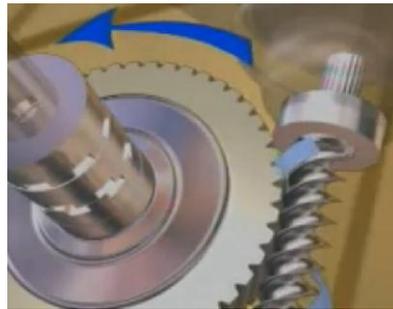


Fuente: Archivo digital Impotadora Tomebamba, revisado el 5-Junio-2012

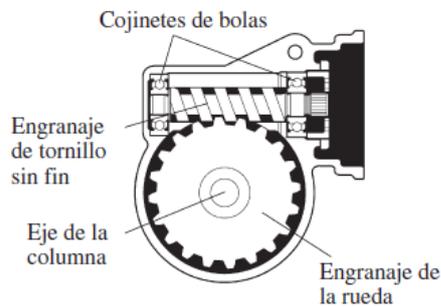
2.2.3 Mecanismo de reducción

Este mecanismo consiste en un engranaje de tornillo sin fin y un engranaje de rueda, se encarga de reducir la velocidad del motor de corriente continua y transmitirla al eje de la columna (Fig 2-14). Para reducir el ruido y las fricciones, el engranaje de tornillo sin fin se apoya en los cojinetes de esferas.

Fig 2-14 Mecanismo Desmultiplicador



Fuente: www.youtube.com/watch?v=sJtjs3lthM4, revisado el 3-Junio-2012



Fuente: Archivo digital Importadora Tomebamba, revisado el 5-Junio-2012

2.2.4 Columna de la dirección

En la columna de dirección están montados el motor de corriente continua, el mecanismo de reducción y el sensor de par de torsión, ensamblados conjuntamente formando un solo cuerpo (Fig 2-16). Dada la precisión de montaje y la vulnerabilidad de los componentes electrónicos a las cargas estáticas que se podrían generar al manipularlos, el fabricante Toyota recomienda no desmontar ni operar ningún elemento de la EPS; así mismo en caso de fallar alguno de ellos, se debe sustituir la columna completa.

2.2.5 Instrumentos

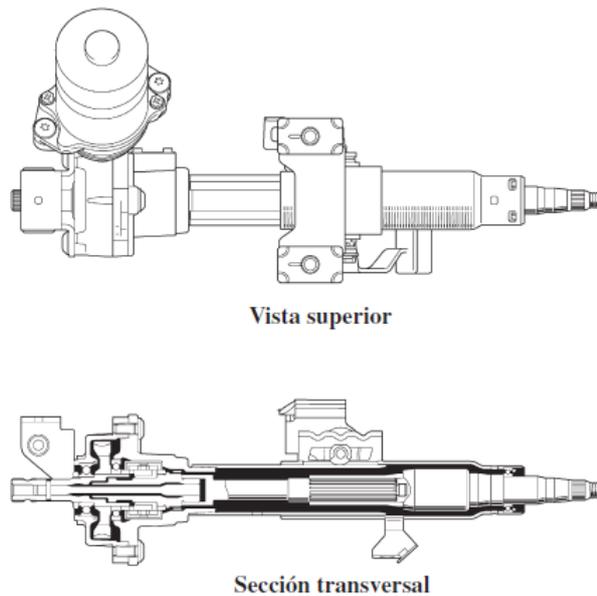
Cuando el sistema de dirección electro asistido presenta alguna anomalía en su funcionamiento, como la falta de una de las señales de los sensores, se genera una señal visual en el cuadro de instrumentos que advierte al conductor sobre una posible falla en el sistema (Fig 2-15).

Fig. 2-15 Indicador de averías EPS



Fuente: Archivo digital Impotadora Tomebamba, revisado el 5-Junio-2012

Fig. 2-16 Columna de la dirección EPS



Fuente: Archivo digital Impotadora Tomebamba, revisado el 5-Junio-2012

Los elementos que se describen a continuación no fueron usados en la implementación del sistema de dirección eléctrica en la cremallera del vehículo BMW 320. Estos elementos fueron reemplazados por una tarjeta electrónica de control que cumple las funciones de la ECU del motor y de de la ECU de la dirección asistida bajo dos de los tres principios de funcionamiento del sistema original (velocidad y régimen motor), ya que la tercera señal que corresponde a la generada por el sensor de par fue reemplazada por sensores infrarrojos (Fig. 2-18) que con la ayuda de un encoder (Fig. 2-17) detectan el sentido de giro del volante de la dirección e informan a la unidad electrónica de control del sistema.

Fig. 2-17 Encoder para detectar el sentido de giro

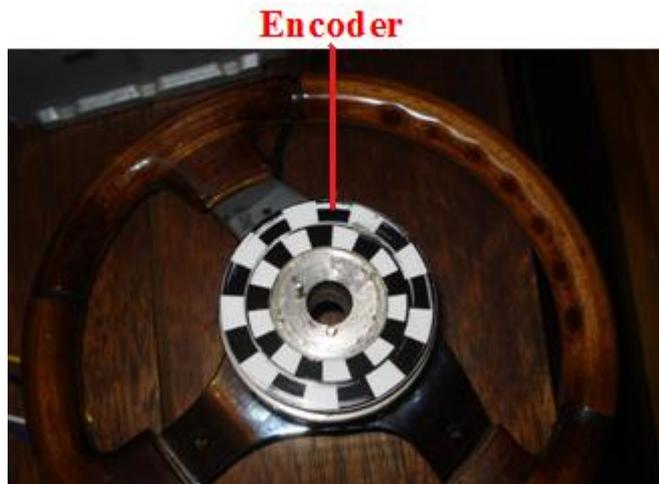


Fig. 2-18 Sensores infrarrojos que trabajan conjuntamente con el encoder



La señal de velocidad y régimen motor se generarán con la implementación de sensores acoplados al vehículo de tal manera que proporcionen la información necesaria para generar la asistencia, como son la señal de la velocidad de desplazamiento del vehículo y el régimen de giro del motor.

2.2.6 ECU de la EPS

Controla el motor de corriente continua dispuesto en la columna de dirección con el objeto de proporcionar la servo asistencia de acuerdo a las señales generadas por los sensores de rpm, velocidad y el sensor de torque ubicado dentro de la columna de dirección, brindando una mayor asistencia cuando el vehículo está detenido, y una menor asistencia conforme se va aumentando la velocidad de marcha.

2.2.7 ECU del motor

La Unidad Electrónica de Control (ECU) del motor tiene la única misión de transmitir la señal de régimen de giro del motor de combustión interna a la unidad de control de la dirección electro asistida para generar la servo asistencia requerida por el conductor en cada instante.

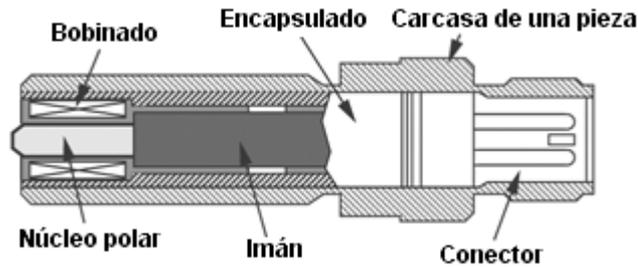
2.2.8 ECU de control de derrape

Cuando se produce un derrape se generan señales diferentes en los sensores de velocidad del vehículo, que en estos casos deben existir en los ejes de las ruedas motrices, y se envían a la ECU de la EPS, la misma que conserva la sensibilidad de la dirección para mantener el control sobre el vehículo.

2.3 Selección del sensor de velocidad

Para medir la velocidad de desplazamiento del vehículo BMW se utilizó un sensor tipo Hall (Fig 2-19), que trabaja en base al cambio de inductancia creada debido a la proximidad de un encapsulado (que contiene un imán permanente en su interior), con un objeto metálico.

Fig. 2-19 Componentes del sensor tipo Hall



Fuente: http://robots-argentina.com.ar/Sensores_magnetismo.htm, revisado el 4-Diciembre- 2012

El sensor de efecto Hall (Fig 2-20) se conecta mediante tres cables eléctricos. Uno de ellos corresponde con el valor negativo (masa del vehículo), otro cable corresponde con la alimentación, que suele ser de 5 ó de 12 voltios; (en el presente caso es de 12V), y el tercer cable corresponde a la señal de salida, la misma que varía de acuerdo a la posición del sensor respecto a una placa metálica.

Fig. 2-20 Sensor de velocidad tipo Hall



Al colocar el núcleo del sensor Hall a una distancia de 1 a 3,5 mm respecto a un material ferro magnético (placa metálica) (Fig. 3-26), las líneas de flujo del imán permanente cambian de dirección. Cuando el vehículo está detenido, no se produce movimiento en las líneas de flujo, por lo que no se induce corriente a la bobina; pero al arrancar el vehículo, un objeto ferro magnético ingresará y abandonará el campo

del imán, esta acción induce un impulso de corriente proporcional en amplitud y forma a la velocidad del cambio de flujo.

Es muy importante la relación entre la amplitud de la tensión y la distancia sensor-objeto, pues la sensibilidad del sensor disminuye considerablemente si la distancia al material ferroso es mayor a 3,5mm y tiene la gran ventaja de no sufrir ninguna variación frente a suciedad no magnética ni humedad.

2.4 Unidad electrónica de control del sistema Servo-asistido.

Para el funcionamiento de la servo dirección eléctrica son necesarias tres señales, todas ellas son interpretadas por una tarjeta electrónica construida específicamente para reemplazar las funciones de la ECU del motor y de la ECU de la EPS en base a un micro controlador que se encarga de comandar al motor de corriente continua dispuesto en la columna de la dirección y de esta manera controla la servo asistencia de acuerdo a los parámetros de funcionamiento establecidos para el nuevo sistema que se implementó en la dirección mecánica de cremallera del vehículo BMW. Dichas señales son:

- La señal de velocidad, que es generada por un sensor tipo hall ubicado en la rueda posterior derecha del vehículo.
- La señal de régimen motor, que se toma directamente de la bobina de encendido
- La señal de sentido de giro del volante generada por los sensores infrarrojos y el encoder.

2.4.1 Velocidad de marcha del vehículo.

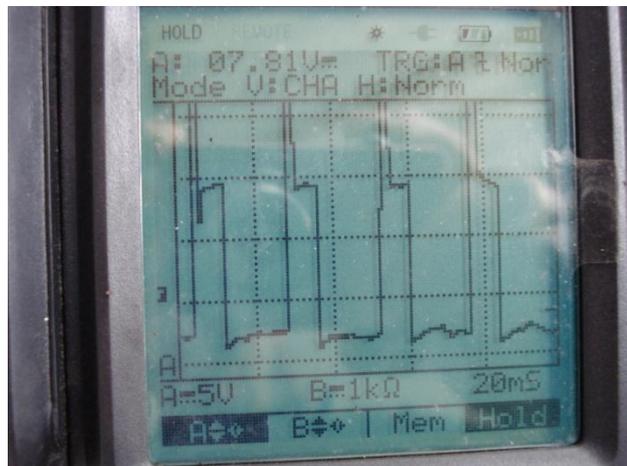
La velocidad de marcha del vehículo es un parámetro muy importante debido a que en bajas velocidades la asistencia es mayor, especialmente en conducción en ciudad y al estacionar, donde la velocidad puede llegar a cero, aumentando la resistencia de giro de los neumáticos respecto a la superficie, siendo esta la condición más extrema de asistencia.

La dirección mecánica de cremallera del vehículo BMW fue diseñada por el fabricante para ser manipulada sin asistencia alguna, ya que en ese entonces el confort en la conducción no era un factor primordial. Hoy en día se busca la comodidad al momento de conducir, para evitar la fatiga sobre todo en situaciones que exigen mayores ángulos de giro a bajas velocidades; es por esta razón que la asistencia en la dirección solo es necesaria hasta los 30 km/h en el vehículo.

2.4.2 Régimen de giro del motor de combustión.

La señal del régimen de giro (Fig. 2-21) indica al sistema si el motor de combustión interna se encuentra encendido o apagado. En caso de encontrarse apagado, no se genera asistencia alguna para preservar la carga de la batería. Para medir las rpm, se dispuso de la señal eléctrica que proporciona la bobina de encendido del vehículo, de esta manera cuando se encienda el motor de combustión interna, generará una señal, la misma que será transmitida a la tarjeta electrónica.

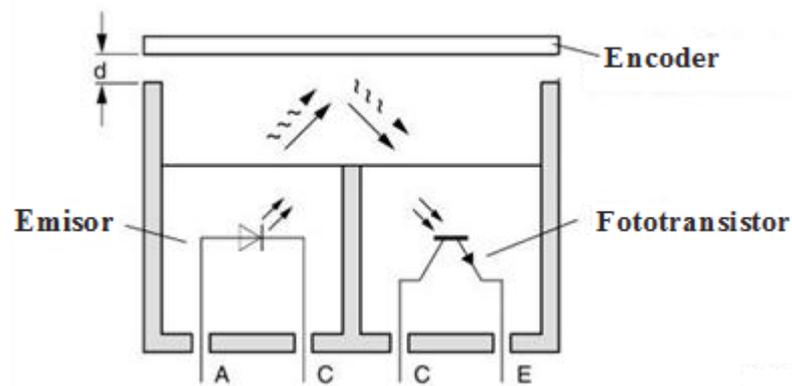
Fig 2-21 Señal generada por la bobina de encendido



2.4.3 Sensores infrarrojos CNY70 en el volante de la dirección.

El sensor de reflexión CNY70 (Fig. 2-23) tiene la ventaja de ser pequeño, compacto y de bajo costo, por lo que es el más utilizado en discos de encoders con dibujos de ranuras (Fig 2-24) para las detecciones a corta distancia d (1-3mm) (Fig. 2-22). Está compuesto por un diodo emisor de infrarrojos y un fototransistor como elemento sensible.

Fig. 2-22 Diagrama de un sensor infrarrojo y un encoder



Fuente: <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/veloraton/sensoroptref.htm>, revisado el 9-Diciembre- 2012

Fig. 2-23 Sensor infrarrojo



Fuente: <http://alonsodub.wordpress.com/2012/06/10/sensor-cny70/>, revisado el 9-Diciembre-

2012

*“Los sensores infrarrojos reflexivos emplean una fuente de señal luminosa (lámparas, diodos led, diodos laser, etc.) y una célula reflectora del reflejo de esta señal, que puede ser un fotodiodo, un transistor, LDR, incluso chips especializados, como los receptores de control remoto”.*¹⁷

2.4.3.1 Funcionamiento de un sensor infrarrojo CNY70

El sensor CNY70 trabaja sobre superficies de color blanco y negro, que están trazadas en el encoder de acuerdo a un diseño previamente establecido. Cuando el

¹⁷ http://robots-argentina.com.ar/Sensores_reflectivos.htm

sensor pasa por una superficie de color blanco, la luz emitida por el diodo es reflejada al foto transistor, generando una señal que puede ser considerada como un valor bajo, mientras que cuando pasa sobre una superficie de color negro, esta absorbe gran parte del haz luminoso emitido por el diodo, por lo que la intensidad en el transistor será muy baja, generando una señal que es considerada como alta.

2.4.3.2 Funcionamiento del encoder y sensores infrarrojos a derecha e izquierda

El encoder consta de dos canales: canal A y canal B que están desfasados 90° (Fig. 2-24), de manera que al girar el volante en un sentido el canal A adelanta al B y en sentido contrario, el canal B adelanta al A (Fig 2-25), enviando dos señales continuas A y B a la Unidad electrónica de control.

Fig. 2-24 Canal A y canal B del encoder

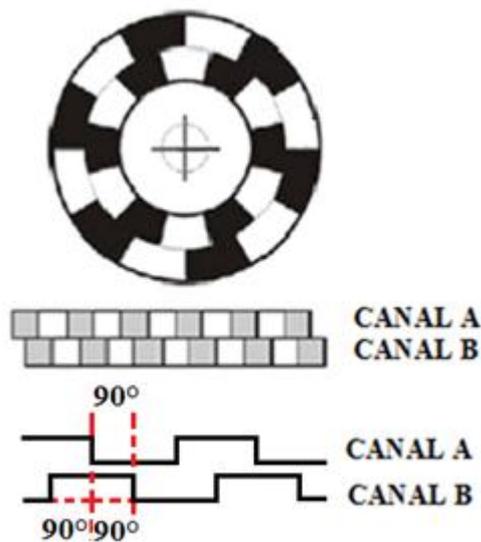
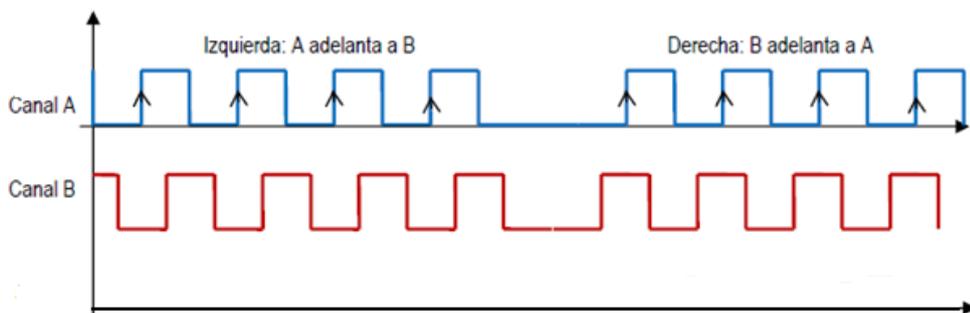


Fig. 2-25 Señal de desfase entre canal A y canal B en giros a derecha e izquierda



2.4.4 Micro controladores.

Un micro controlador es un circuito integrado programable, económico y de bajo consumo de energía, capaz de ejecutar diversas tareas establecidas, está compuesto por varios bloques funcionales en su interior, los mismos que desempeñan funciones específicas grabadas en su memoria como son:

- Memoria ROM: (Memoria de sólo lectura)
- Memoria RAM: (Memoria de acceso aleatorio)
- Líneas de entrada/salida: También llamados puertos
- Lógica de control: Coordina la interacción entre los demás bloques

2.4.5 Construcción de la unidad electrónica

Como ya se explicó anteriormente, la Unidad Electrónica de Control está diseñada en base a tres parámetros fundamentales como son: el sentido de giro en el volante captado por los sensores CNY70, la velocidad de desplazamiento del vehículo y el régimen motor. El sistema de dirección electro asistida consta de los siguientes circuitos principales:

- Fuente de alimentación
- Unidad de procesamiento de señales
- Circuito “Buzzer” de alerta auditiva
- Circuito de visualización LCD
- Circuito de visualización LED
- Circuito de los sensores infrarrojos CNY70 de movimiento del volante
- Acoplamiento de señales del Sensor Hall de velocidad
- Acoplamiento de la señal de RPM del motor
- Interruptores de control de la unidad

2.4.5.1 Fuente de alimentación

Mediante el interruptor S5 (Fig. 2-26) se energiza y des-energiza todo el módulo de control para asistencia. El Led1 (Fig. 2-26) nos indica que la tarjeta se encuentra energizada con 12V de la batería del vehículo; el potenciómetro R-Pot (Fig. 2-27)

sirve para ajustar el voltaje de la fuente a 3.3V, el mismo que alimenta el display gráfico (Fig. 2-27) del módulo para asistencia. El módulo de control para asistencia electrónica de la dirección posee una fuente integrada con voltajes regulados de 5V y 3.3V, el esquema de la fuente integrada se muestra en la Fig. 2-27.

Fig. 2-26 Encendido/ Apagado (ON/OFF) Fuente de alimentación de la unidad de procesamiento

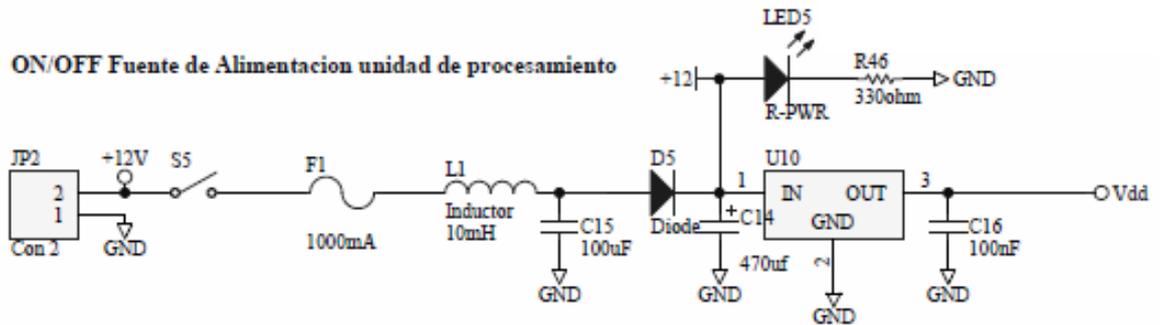
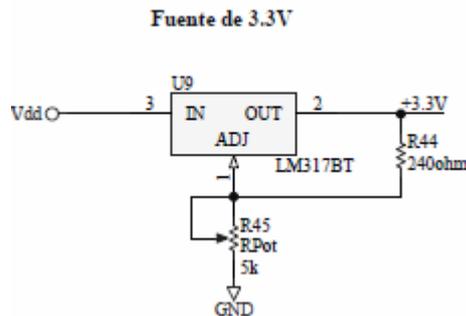


Fig. 2-27 Fuente de alimentación del display

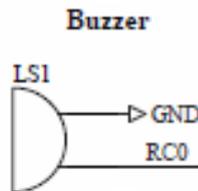


2.4.5.2 Unidad de procesamiento de señales

El micro controlador PIC 18F4550 es el encargado para la asistencia electrónica, ya que según el firmware o programa grabado en su memoria interna controlan el funcionamiento del sistema de asistencia de la dirección a través de las funciones y controles delegados en la programación del mismo, pasando a ser de esta manera el centro del módulo.

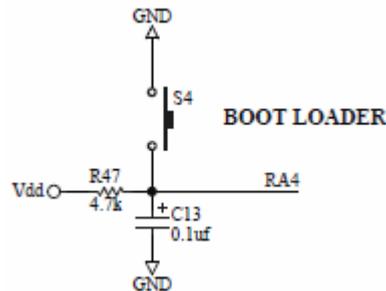
El Buzzer LS1 (Fig. 2-28) sirve para indicarnos mediante una señal sonora que el sistema se enciende y está en óptimas condiciones para la asistencia electrónica de la dirección. También se encarga de avisar de alguna avería que pueda presentarse en el sistema, ya sea esta por el fallo de los sensores o por defecto de las señales.

Fig. 2-28 Diagrama del indicador de señal sonora



LCD1 (Fig. 2-30) hace referencia al circuito de visualización a través de una pantalla LCD utilizada para visualizar alertas y acciones del módulo de control; el interruptor S4 (Fig. 2-29) activa o desactiva la función bootloader, función que sirve para reprogramar el módulo de control para asistencia desde cualquier computador que posea puerto USB para la conexión del programador de micro controladores externo.

Fig. 2-29 Diagrama de función boot loader de reprogramación



El circuito de visualización LED (Fig. 2-31) consta de cuatro diodos led que indican:

- Estado del sistema: encendido/apagado
- Estado de la asistencia electrónica: con asistencia/sin asistencia
- Giro del volante a la derecha
- Giro del volante a la izquierda

Fig. 2-30 Diagrama del circuito de visualización LCD

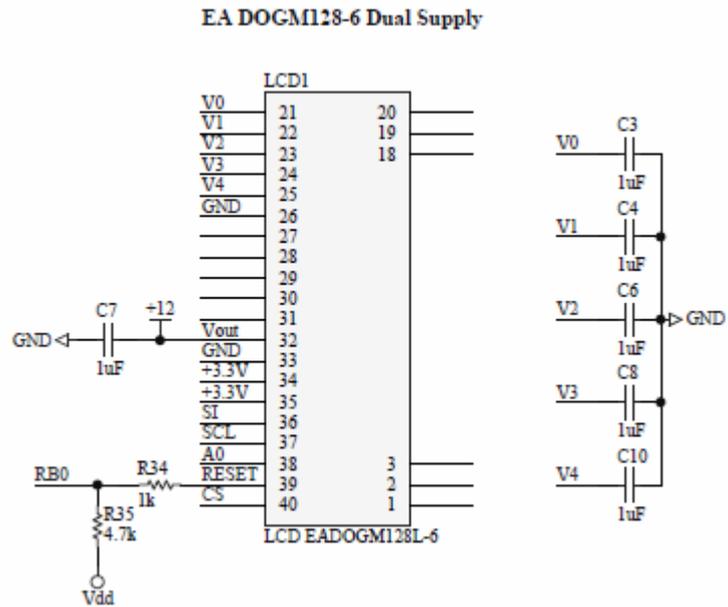
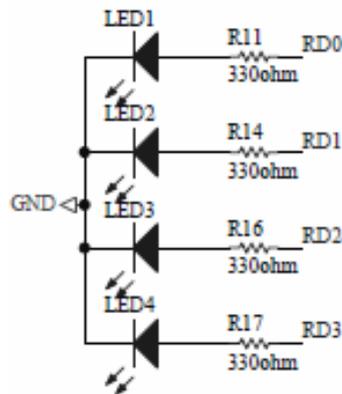


Fig. 2-31 Diagrama del circuito de visualización LED



2.4.5.3 Circuito de sensores infrarrojos CNY70 de movimiento del volante

Los sensores infrarrojos se encuentran desplazados de tal manera que el uno se enfrenta al canal A del encoder y el otro al canal B, que al estar desfasados 90° generan un patrón de señales diferentes RB4 (Fig. 2-32) y RB5 (Fig. 2-33) que son interpretados por la unidad electrónica de control como giro a derecha e izquierda del volante respectivamente.

Fig. 2-32 Diagrama de señal en CANAL A del encoder

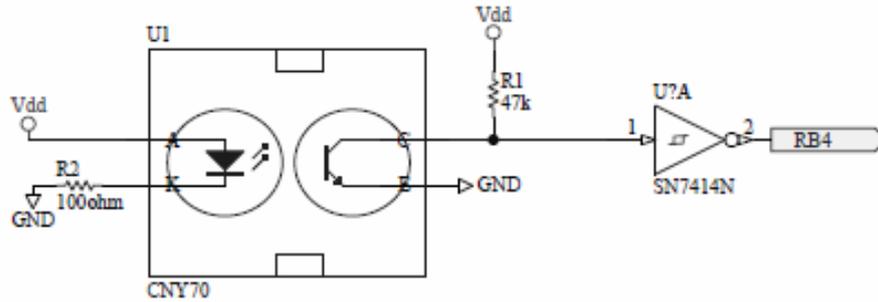
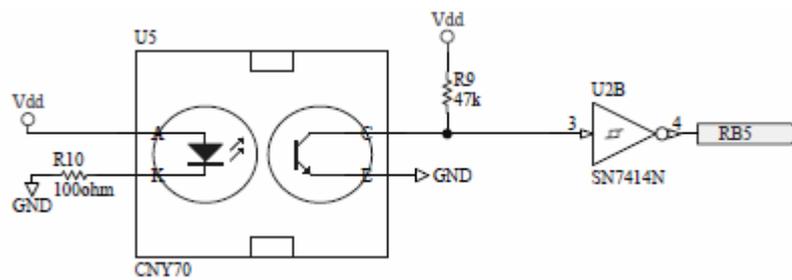


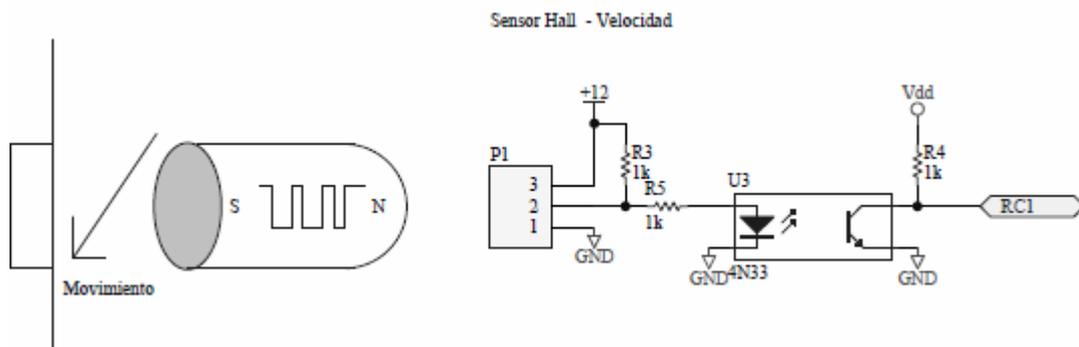
Fig. 2.33 Diagrama de señal en CANAL B del encoder



2.4.5.4 Acoplamiento de señales del Sensor Hall de velocidad

El sensor Hall de velocidad genera una señal de 12V por medio de una aproximación magnética que cuando se encuentra a una distancia de 1 a 3,5mm se activa; y mediante el empleo de un opto acoplador 4N33 (Fig. 2-35) los pulsos del sensor hall son amplificados y acoplados a 5V.

Fig. 2-34 Diagrama del circuito del sensor hall de velocidad



El dispositivo opto acoplador 4N33 funciona como un interruptor que es activado por medio de un haz de luz emitido por un diodo LED creando una conexión de tipo óptica. *“Este elemento puede sustituir a elementos electromecánicos como relés, conmutadores. De esta manera se eliminan los golpes, se mejora la velocidad de conmutación y casi no hay necesidad de mantenimiento.”*¹⁸

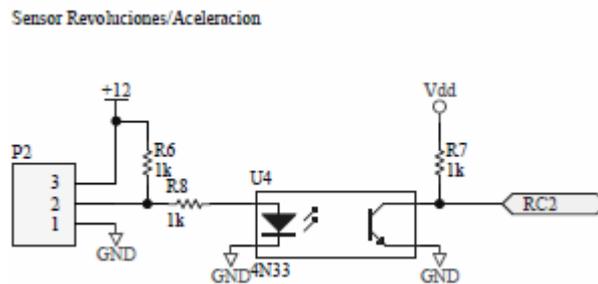
Fig. 2-35. Dispositivo opto acoplador 4N33



Fuente: <http://www.abcelectronica.net/productos/circuitos-integrados/optoacopladores/>, revisado el 10-Diciembre- 2012

2.4.5.5 Acoplamiento de la señal de revoluciones por minuto del motor

Fig. 2-36 Diagrama del sensor de rpm

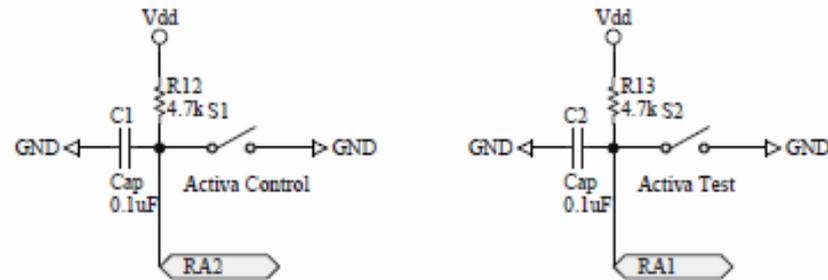


La señal de aceleración captada en la bobina de encendido del motor de combustión interna es una señal de onda cuadrada a 12V (Fig. 2-21) que de igual forma se opto acopla con un 4N33 para tener la señal a 5V y de esta manera ser transmitida al micro controlador de la Unidad Electrónica de Control

¹⁸ http://www.unicrom.com/Tut_optoacoplador.asp

2.4.5.6 Interruptores de control de la unidad

Fig. 2-37 Interruptores de control de la unidad



El sistema cuenta con dos interruptores de control (Fig. 2-37), el uno para energizar el sistema de asistencia, de manera que las señales de los sensores de velocidad y rpm son visualizados en la pantalla LCD, así como también el sentido de giro a derecha o izquierda en los indicadores LED, todo esto sin generarse la asistencia del motor eléctrico; mientras que el otro se encarga de activar la asistencia de acuerdo al protocolo de programación de la unidad electrónica de control.

CAPITULO III

MONTAJE DEL SISTEMA EPS EN EL VEHICULO BMW

Para el acoplamiento del sistema EPS en el vehículo BMW se desmontó primero la columna original de la dirección para comprobar el espacio real del que se disponía para la adaptación (Fig 3-1), y hacer las modificaciones necesarias para la implementación de la EPS., puesto que el nuevo sistema requiere mayor espacio.

Fig. 3-1 Espacio disponible para adaptar el Sistema EPS



3.1 Dimensiones de la columna del Vehículo BMW y del Sistema EPS

3.1.1 Columna de Dirección Original del Vehículo BMW

El sistema de dirección original del Vehículo BMW es un mecanismo sencillo que consta de la columna y un eje articulado (Fig.3-2; Fig 3-3). La columna, que mide 74 cm de longitud, se sujeta al vehículo mediante dos puntos de apoyo fijos; en su parte superior en el soporte del panel de instrumentos (Fig 3-4), y en su parte inferior en la pared de fuego a la altura de los pedales (Fig 3-5). El eje articulado facilita el acople de la columna con la cremallera a través de dos juntas tipo cruceta.

Fig. 3-2 Eje Articulado Original BMW



Fig. 3-3 Columna de Dirección BMW



Fig. 3-4 Soporte superior de Columna

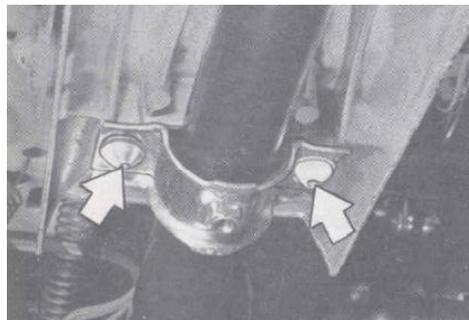
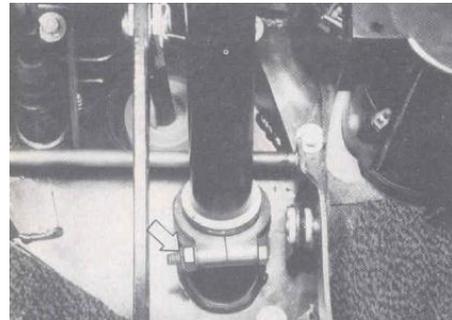


Fig. 3-5 Soporte inferior de Columna



Fuente: Manual de reparaciones BMW, pág. 32-31/6, revisado el 16-Diciembre-2012

Fig. 3-6 Articulación superior

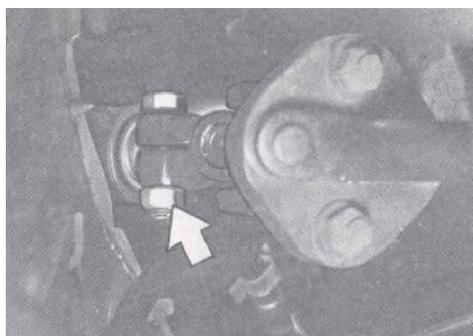


Fig. 3-7 Articulación inferior



Fuente: Manual de reparaciones BMW, pág. 32-31/3, revisado el 16-Diciembre-2012

3.1.2 Dimensiones de la columna EPS

La columna de dirección del sistema EPS es más corta que la del BMW (Fig 3-8), siendo su longitud 46 cm, por lo que fue necesario fabricar dos ejes con el fin de alcanzar la longitud de 74cm que permite acoplarse al eje articulado original del sistema del BMW, con el propósito de no alterar significativamente la transmisión del movimiento del volante de la dirección hacia la cremallera.

Fig. 3-8 Columna de dirección EPS y Columna original de BMW



Fig. 3-9 Localización de los ejes A y B



3.2 Proceso de fabricación de los ejes A y B.

Se construyeron dos ejes para facilitar el montaje y desmontaje de la columna EPS, que se denominaron eje A y eje B. Para el proceso de fabricación de los ejes de transmisión A y B (Fig. 3-9) se empleó un diseño de tipo concurrente, que consiste en utilizar elementos ya existentes en el mercado para solucionar las necesidades requeridas, siendo una manera eficaz de ahorrar tiempo y dinero.

3.2.1 Diseño del eje A

El eje A fue diseñado de tal manera que se acople por un lado a la columna y por otro al eje B. Fue construido empleando dos piezas (A1, A2) (Fig. 3-10) tomadas de una junta de tipo universal (Fig. 3-11) que fue adquirida en el mercado local y posee estriados interiores (Fig. 3-12) para permitir su acoplamiento con el eje B. El eje macizo A1 se ensambló con A2 empleando un proceso de unión por soldadura eléctrica con la finalidad de formar un solo elemento que tiene una longitud de 14,5 cm.

Fig. 3-10 Conformación del Eje A

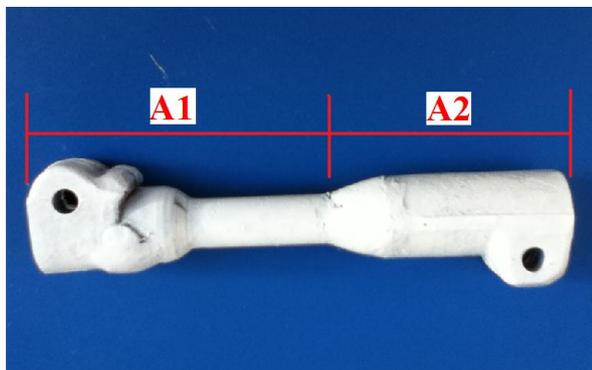


Fig. 3-11 Junta tipo universal



Fig. 3-12 Estriado interior del eje A



3.2.2 Diseño del Eje B

El eje B fue constituido a partir de una barra circular maciza de acero estructural A36, se utilizó este material debido a sus características mecánicas como su resistencia, maquinabilidad y fortaleza. Tiene una longitud de 17,4 cm y mediante un proceso de fresado (Fig. 3-14) se mecanizó su estriado empleando un molde (Fig. 3-13) tomado del estriado interior del eje A para su acople con el mismo (Fig. 3-15); y por el otro extremo se acopló al eje articulado original del sistema de dirección del BMW (Fig. 3-17) mediante una junta tipo chaveta fija (Fig. 3-16).

Fig. 3-13 Molde del estriado del Eje A

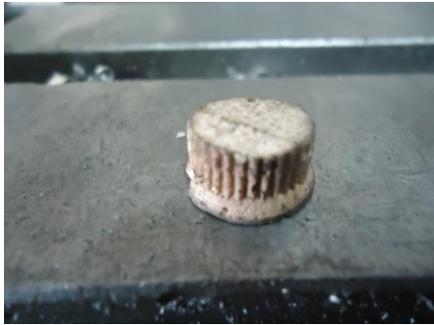


Fig. 3-14 Fresado del Eje B



Fig. 3-15 Acoplamiento con el eje A



Fig. 3-16 lado de acoplamiento con el eje articulado

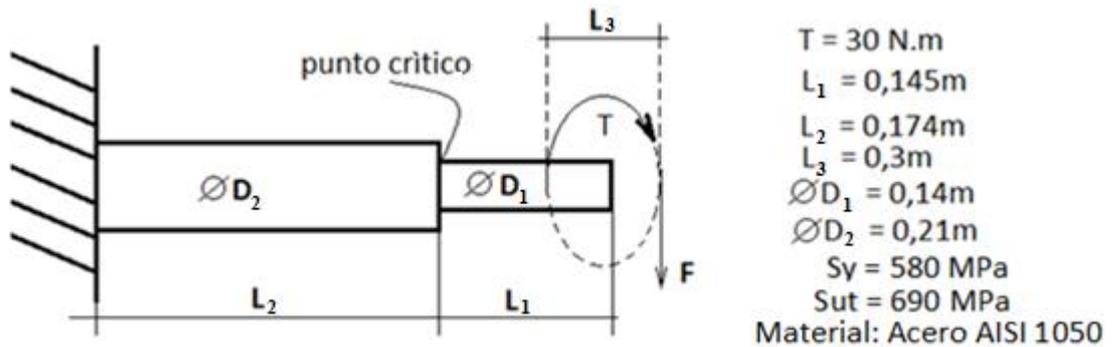


Fig. 3-17 Eje articulado original de BMW



3.3 Cálculo de esfuerzos en los ejes A y B

Fig. 3-18 Diagrama de esfuerzos sobre los ejes



- Cálculo del momento M

$$M = F * L_1$$

Ecuación 3-1

Donde:

M = momento torsor (Nm)

F = fuerza aplicada (N)

L1 = longitud eje A (m)

$$M = 34,8 \text{ Nm}$$

- Cálculo del Area

$$A_1 = \frac{\pi * D_1^2}{4}$$

Ecuación 3-2

Donde:

A1 = área del eje A (m^2)

$$\pi = 3,1416$$

D1 = diámetro eje A (m)

$$A1 = 1,54 * 10^{-4} m^2$$

- Cálculo del Momento polar de inercia:

$$J = \frac{\pi * D1^4}{32} \quad \text{Ecuación 3-3}$$

Donde:

J = Momento polar de inercia (m^4)

$$J = A1 = 3,77 * 10^{-9} m^4$$

- Cálculo del Momento de inercia

$$I1 = \frac{\pi * D1^4}{64} \quad \text{Ecuación 3-4}$$

Donde:

I1 = Momento de inercia eje A (m^4)

$$I1 = 1,89 * 10^{-9} m^4$$

- Cálculo del radio del eje A

$$c = \frac{D1}{2} \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Donde:

c = radio eje A (m)

$$c = 0,007m$$

- Cálculo del Esfuerzo flexionante

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \quad \text{Ecuación 3-6}$$

Donde:

σ = Esfuerzo flexionante (Pa)

$\sigma = 129,18 \text{ MPa}$

- Cálculo del esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{T \cdot c}{J}$$

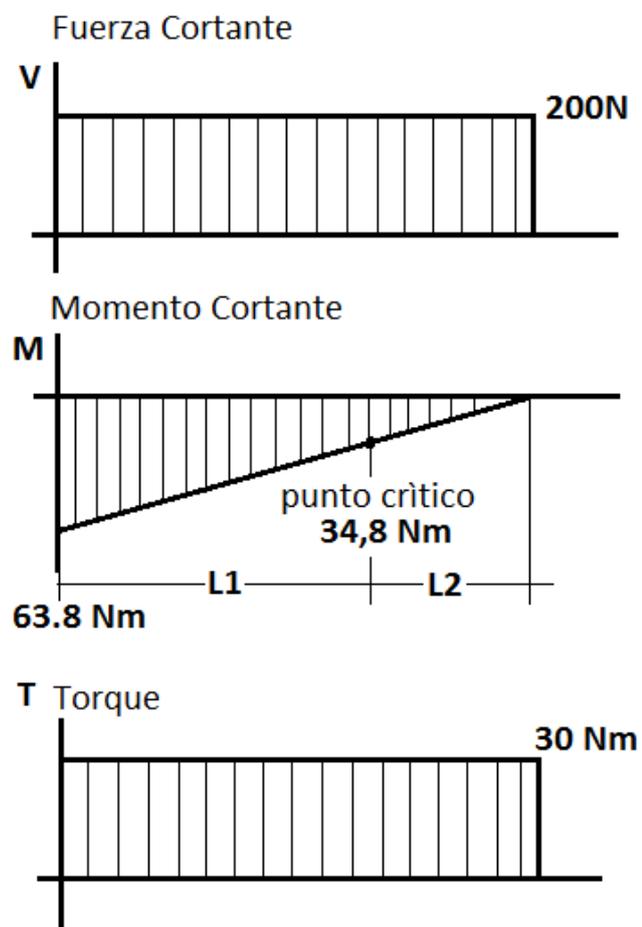
Ecuación 3-7

Donde:

τ = Esfuerzo cortante (Pa)

$\tau = 55,68 \text{ MPa}$

Fig. 3-19 Diagramas de Fuerza cortante, Momento flector y torque en el eje



- Factor de seguridad contra fluencia

$$\sigma'_{\text{Max}} = \left[\left(\frac{32 K_f \cdot M_a}{\pi \cdot D_1^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{16 K_{fs} \cdot T_m}{\pi \cdot D_1^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación 3-8}$$

Donde:

σ'_{Max} = Esfuerzo máximo de von Mises (Pa)

$\sigma'_{\text{Max}} = 243,76 \text{ MPa}$

$$\eta_y = \frac{S_y}{\sigma'_{\text{Max}}} \quad \text{Ecuación 3-9}$$

Donde:

η_y = Factor de seguridad contra fluencia

S_y = Resistencia a la fluencia AISI 1050 CD (Pa) (Anexo 9)

$\eta_y = 2,4$

Tabla 3-1 Datos para el cálculo de esfuerzos en el eje

D2	D1	R	D2/D1	r/d	kts	Kt
21	14	1,4	1,5	0,1	1,42	1,68
					Anexo 4	Anexo 5

- Factor de sensibilidad a la muesca:

$q = 0,85$ (Anexo 6)

$q_{\text{cortante}} = 0,92$ (Anexo 7)

- Factores que modifican el límite de resistencia

$$\mathbf{K_a = a}$$

$$* S_{ut}^b$$

$$\mathbf{Ecuación 3-10}$$

Donde:

K_a = Factor de modificación de la condición superficial

a = Factor de condición superficial de Marin (Anexo 8)

S_{ut} = Resistencia mínima a la tensión AISI 1050 CD (Pa) (Anexo 9)

b = Exponente de condición superficial de Marin (Anexo 8)

$$K_a = 0,798$$

$$\mathbf{K_b = 1,24d^{-0,107}}$$

$$\mathbf{Ecuación 3-11}$$

Donde:

K_b = Factor de tamaño

d = Diámetro del eje A (m)

$$K_b = 0,935$$

$$\mathbf{K_c = K_d = K_e = K_f = 1}$$

$$\mathbf{Ecuación 3-12}$$

Donde:

K_c = Factor de modificación de carga

K_d = Factor de modificación de la temperatura

K_e = factor de confiabilidad

K_f = Factor de modificación de efectos varios

- Cálculo del límite de resistencia a la fatiga

$$\mathbf{Se' = 0,5Sut} \qquad \mathbf{Ecuación 3-13}$$

Donde:

Se' = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria (Pa)

$$Se' = 345 \text{ MPa}$$

- Cálculo del límite de resistencia a la fatiga

$$\mathbf{Se = Ka * Kb * Kc * Kd * Ke * Kf * Se'} \qquad \mathbf{Ecuación 3-14}$$

Donde:

Se = Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso (Pa)

$$Se = 257,41 \text{ MPa}$$

- Factor de concentración de esfuerzo a la fatiga

$$\mathbf{Kf = 1 + q (Kt - 1)} \qquad \mathbf{Ecuación 3-15}$$

Donde:

Kf = Factor de concentración de esfuerzo a la fatiga

q = sensibilidad de la muesca

Kt = Factor teórico de concentración de esfuerzos (Anexo 5)

$$Kf = 1,578$$

$$\mathbf{kfs = 1 + q \text{ cortante} (kts - 1)} \qquad \mathbf{Ecuación 3-16}$$

Donde:

kfs = Factor de concentración de esfuerzo a la fatiga

q cortante = sensibilidad de la muesca

kts = Factor teórico de concentración de esfuerzos (Anexo 4)

kfs = 1,386

- Criterio ED GOODMAN mediante la teoría de la distorsión

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left(\frac{[4 * (Kf * M)^2]^{1/2}}{Se} + \frac{[3 (Kfs * T)^2]^{1/2}}{Sut} \right) \quad \text{Ecuación 3-17}$$

n = 1,7

3.4 Esfuerzos en los ejes A y B empleando un programa de elementos finitos

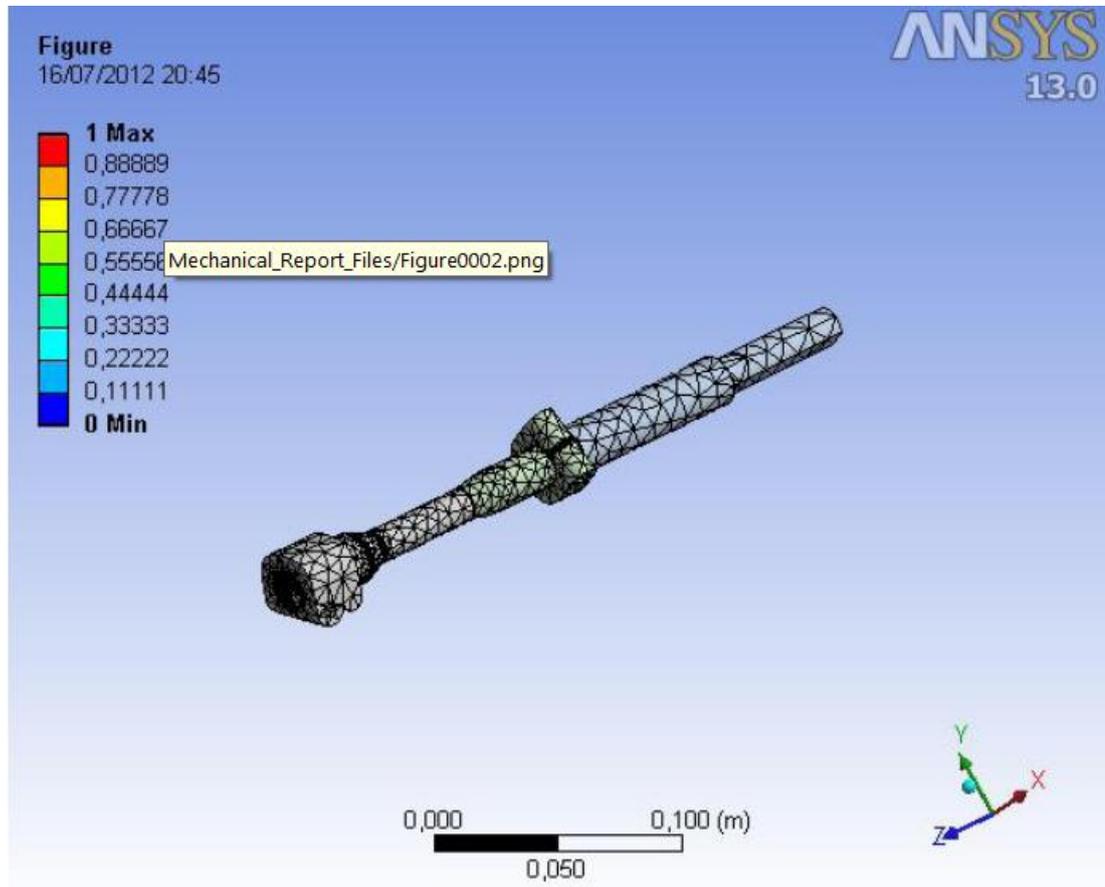
Con la ayuda del programa se realizó el análisis estructural en los ejes de acoplamiento A y B, para obtener los esfuerzos a los que están sometidos los ejes, así como también la deformación que se podría generar al transmitir el par de torsión aplicado en el volante para girar las ruedas.

Para dibujar los ejes se utilizó un programa de diseño que maneja los mismos protocolos del utilizado para realizar los cálculos de esfuerzos, y de esta forma se asegura que las restricciones dadas en el dibujo (el cordón de soldadura empleado para formar el eje A y los estriados empleados en la unión de los ejes A y B) serán respetadas al momento de procesar los cálculos.

La referencia del informe ejecutado en el programa de elementos finitos entrega una variedad de análisis y resultados, siendo los más relevantes para el diseño de los ejes los gráficos de las fuerzas aplicadas (Fig. 3-22), el factor de seguridad (Fig. 3-23) y la deformación total (Fig. 3-25). El criterio de simulación se inició empleando un mallado triangular de seis nodos (Fig. 3-20) ya que es el más empleado en el análisis

debido a su mayor precisión para cubrir superficies sobre todo en uniones de dos elementos como es el caso del eje A (A1 y A2), y de esta manera se obtiene un análisis más preciso.

Fig. 3-20 Mallado de los Ejes A y B



3.4.1 Diagrama de las fuerzas aplicadas

En la Fig. 3-22 se puede apreciar las fuerzas aplicadas al eje tales como son: la fuerza ejercida en el volante por el conductor así como también la fuerza de reacción generada por la resistencia de las ruedas para cambiar de dirección. El torque ejercido en el volante por el conductor se consideró de 30 Nm ya que con la ayuda de un torquímetro (Fig. 3-21) y con el vehículo estacionado, se realizó la medición del torque necesario en el volante para vencer la resistencia de las ruedas con la superficie, cuyo valor fue de 30 Nm, representada en el punto B de la Fig. 3-22 y su

reacción es de 20 Nm, fuerza que está sobrevalorada para demostrar que en las condiciones reales de manejo, los elementos de transmisión de movimiento van a soportar sin dificultades los esfuerzos aplicados.

Fig. 3-21 Torque medido para girar las ruedas



3.4.2 Diagrama del factor de seguridad

El factor de seguridad se puede definir como la confiabilidad o fiabilidad de los elementos mecánicos, en este caso los ejes A y B, de manera que se pueda garantizar que estos elementos están libres de cualquier falla en su funcionamiento.

En el análisis estructural del programa se obtuvo un valor mínimo de 9 y valor máximo de 12 para el factor de seguridad, como se puede apreciar en la Fig. 3-23. Estos valores garantizan la fiabilidad de los ejes construidos para la adaptación de los ejes A y B al sistema.

3.4.3 Diagrama de deformación

La deformación generada en los ejes cuando está en funcionamiento el sistema de dirección, experimenta su valor máximo de $3,91 \text{ E-7m}$ en la zona de acoplamiento con la columna del sistema EPS (Fig. 3-24). Ya que la mayor deformación en los ejes no representa un valor significativo y además se da en un punto donde se dispone de espacio suficiente, no fue necesario realizar modificaciones en el diámetro del

agujero del salpicadero (Fig. 3-24) por donde pasa el eje B para unirse el eje articulado que acopla con la cremallera.

Fig. 3-22 Fuerzas aplicadas en los Ejes A y B

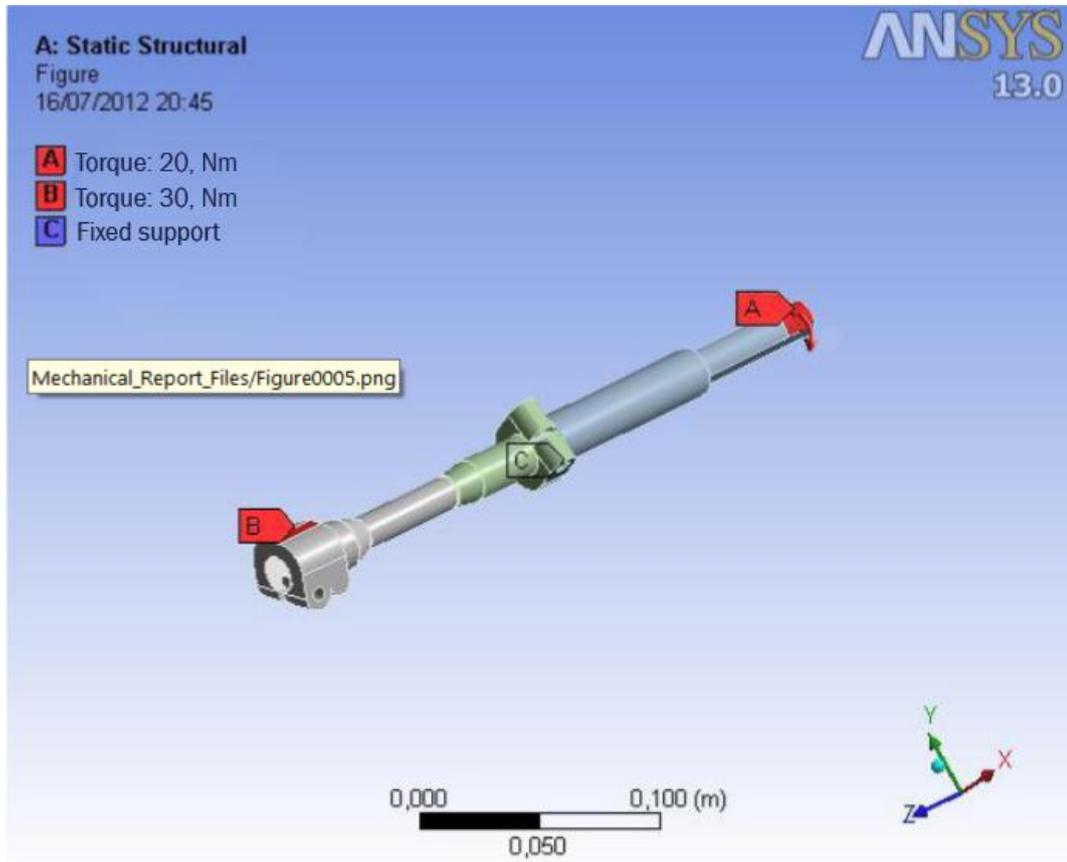


Fig. 3-23 Factor de Seguridad

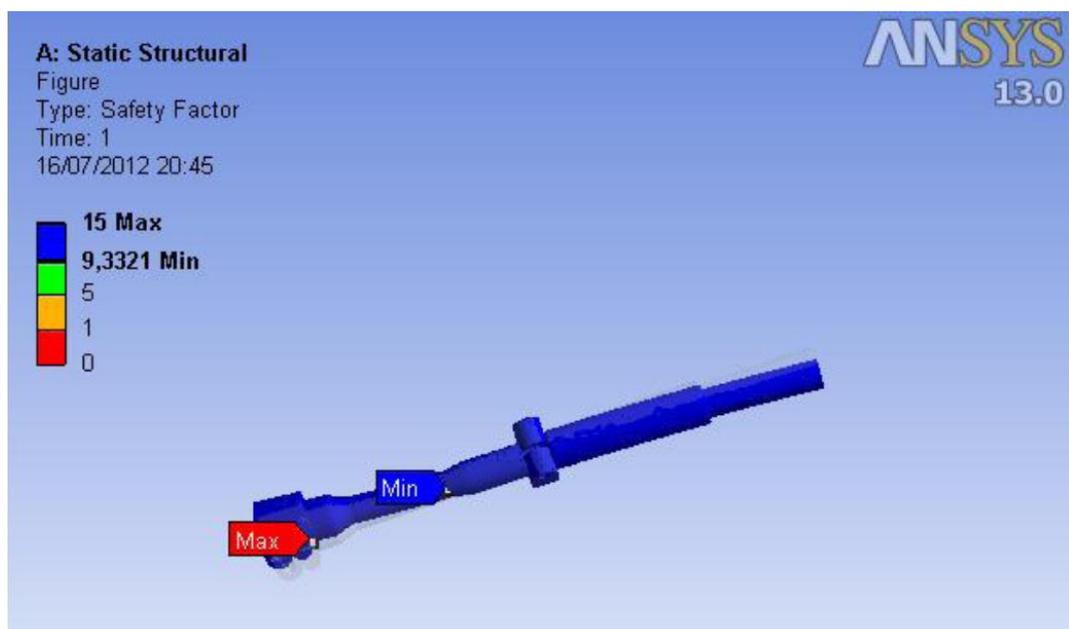


Fig. 3-24 Paso del eje B a través del salpicadero



3.5 Adaptación de la dirección eléctrica en el vehículo BMW

Una vez realizado el análisis de esfuerzos en los ejes adaptados a la columna de dirección eléctrica, se procedió a realizar el montaje en el vehículo BMW, tomando como puntos de apoyo dos bases: la primera base fue la del sistema original en la parte superior, a la altura del volante (Fig. 3-26a); y la segunda base se ubicó en la parte inferior (Fig. 3-26b), sobre los pedales del vehículo, obteniendo de esta manera un acoplamiento óptimo del nuevo sistema de dirección electro asistida. La fijación de dichas bases se realizó procurando no modificar las bases originales, de tal manera que si en alguna ocasión se desea volver a utilizar el mecanismo original, se lo pueda hacer sin ningún problema.

Fig. 3-25 Deformación de los Ejes A y B

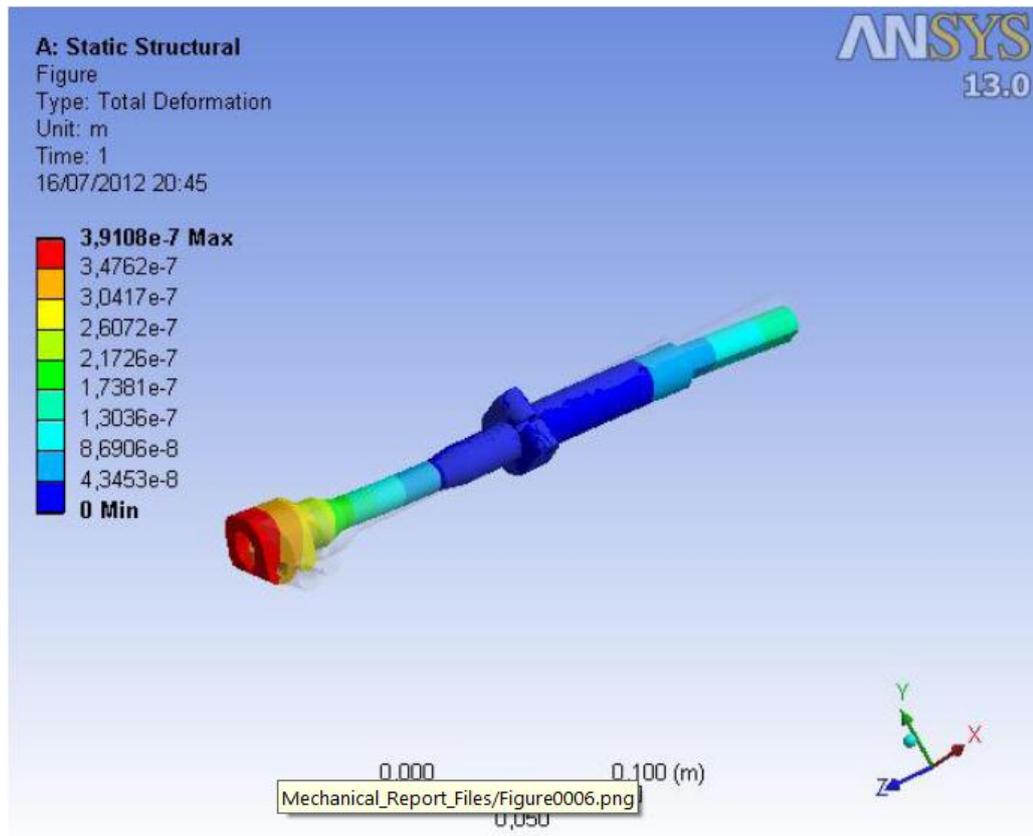


Fig. 3-26 a) Base superior para la fijación de la nueva columna de dirección



Fig. 3-26 b) Base inferior para la fijación de la nueva columna de dirección



3.6 Disposición de Sensores en el vehículo BMW

3.6.1 Sensor de Velocidad

El Sensor para captar la velocidad del vehículo fue ubicado en la mangueta posterior derecha (Fig. 3-27) por ser una zona libre de vibraciones y que al mismo tiempo protege al sensor de golpes que podrían ser causados por objetos extraños en la vía. Par este fin se dispuso de una placa metálica fijamente soldada a la mangueta, la cual dispone de un agujero que sirve para alojar al sensor. Para la regulación de la distancia del sensor con respecto al objeto metálico que está dispuesto en el eje, se hace uso de una tuerca y contra tuerca, las mismas que son parte del sensor.

Fig. 3-27 Ubicación del sensor de velocidad y placa metálica



3.6.2 Sensor de revoluciones por minuto

En la bobina de encendido del motor de combustión interna (Fig. 3-28), se dispuso de un conector en el polo negativo para mediante un cable eléctrico conducir directamente la señal emitida hacia el micro controlador de la unidad electrónica de control.

Fig. 3-28 Medición de las rpm del vehículo



3.6.3 Sensores infrarrojos

En la columna de dirección se fijó una placa metálica (Fig. 3-29) con la finalidad de alojar de forma segura los sensores CNY70 de tal manera que puedan captar el movimiento del volante manteniendo una distancia de 1 a 3mm con respecto al encoder ubicado en la base del volante. (Fig 2-16)

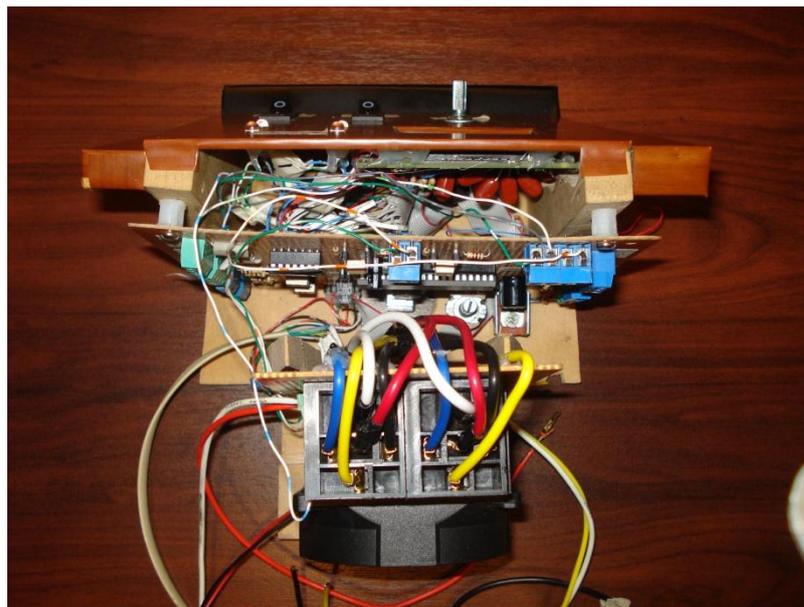
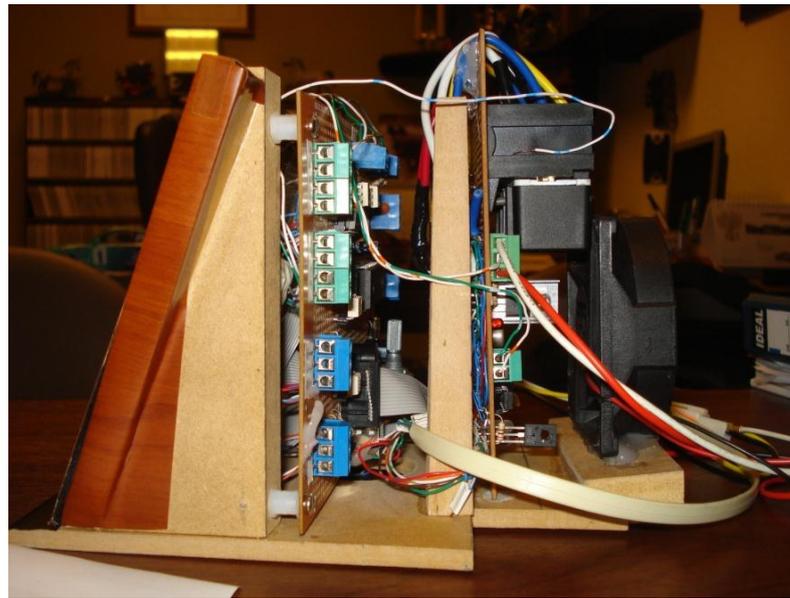
Fig. 3-29 Sensores CNY70 alojados en la placa metálica



3.7 Montaje e instalación de la UEC en el BMW

Las tarjetas electrónicas diseñadas fueron alojadas en una caja de madera (Fig. 3-30) con la finalidad de protegerlas de agentes externos tales como el polvo, la humedad, el calor, así como también para evitar que las vibraciones existentes al conducir el vehículo ocasionen daños en los componentes y por ende un mal funcionamiento del sistema de dirección.

Fig. 3-30 tarjetas electrónicas de control



La caja fue ubicada dentro de la consola central del vehículo en su parte inferior (Fig. 3-31) por ser una zona segura, que permite visualizar perfectamente la pantalla LCD y es de fácil acceso a los mandos del sistema de dirección (Fig. 3-27), además dispone del espacio suficiente para su alojamiento. Va sostenida de tal manera que permita un fácil desmontaje de cada una de las tarjetas electrónicas en caso de necesitar calibraciones.

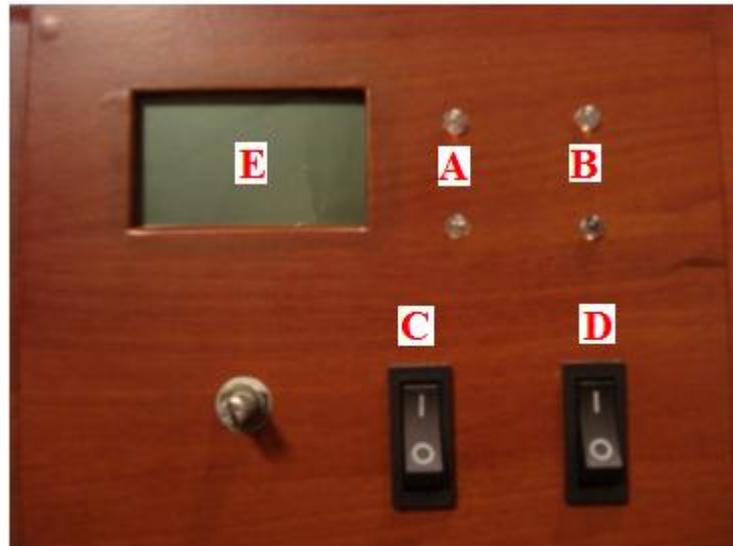
Fig. 3-31 Ubicación de la tarjeta electrónica de control



3.8 Mandos e indicadores del sistema de dirección electro asistida

Los mandos del sistema de dirección electro asistido fueron agrupados en un panel de control que consta de: una pantalla de visualización, un interruptor para energizar el sistema, dos luces led que indican el sentido de giro del volante y un interruptor para activar o desactivar la asistencia (Fig. 3-32). El panel fue ubicado en la consola central del vehículo de tal manera que sea de fácil acceso para el conductor.

Fig. 3-32 Mandos de control y visualización del sistema



- A = Luz de giro a la izquierda**
- B = Luz de giro a la derecha**
- C = Switch ON/OFF del sistema**
- D = Switch ON/OFF asistencia**
- E = Pantalla de visualización**

CAPITULO IV

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

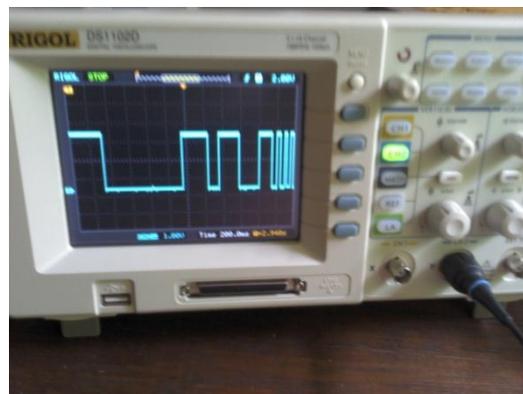
Antes de realizar el montaje del sistema de dirección eléctrica en el vehículo, se procedió a realizar pruebas de laboratorio de cada uno de los sensores y circuitos, con la finalidad de comprobar su funcionamiento, y de acuerdo a éste, determinar la necesidad de realizar calibraciones en los mismos conforme a los parámetros de funcionamiento requeridos para las distintas condiciones de manejo.

4.1 Pruebas de laboratorio

4.1.1 Sensor Hall de velocidad

Utilizando un osciloscopio se verificó que el sensor hall de velocidad funcione correctamente, para lo cual se comprobó que emita una señal de tren de pulsos rectangulares (Fig. 4-1), la misma que fue opto acoplada para eliminar distorsiones y de esta manera ser interpretada por el micro controlador, que se programó aplicando la fórmula matemática de la velocidad tangencial, permitiendo calcular con precisión la velocidad del vehículo.

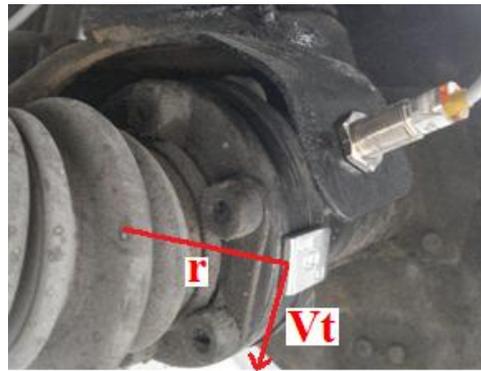
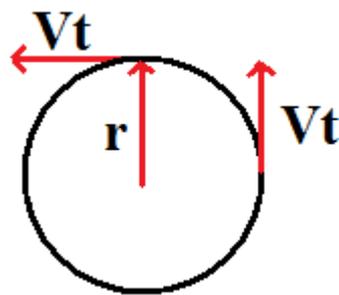
Fig. 4-1 Señal del sensor hall medida en un osciloscopio



4.1.1.1 Velocidad tangencial

“La velocidad tangencial es la velocidad del móvil (distancia que recorre en el tiempo). Por lo tanto para distintos radios y a la misma velocidad angular, el móvil se desplaza a distintas velocidades tangenciales... La velocidad tangencial se mide en unidades de espacio sobre unidades de tiempo, por ejemplo [m/s], [km / h], etc. Se calcula como la distancia recorrida en un periodo de tiempo”¹⁹

Fig. 4-2 Distancias programadas en el micro para medir la velocidad del vehículo



Fórmula de la velocidad tangencial

$$V_t = \frac{2\pi \cdot r \cdot n}{t} = V \quad \text{Ecuación 4-1}$$

Donde:

V_T = Velocidad tangencial (m/seg)

$2\pi r$ = longitud de la circunferencia (m)

n = número de vueltas (rps)

t = tiempo (seg)

Fuente: http://www.proyectosalohogar.com/Enciclopedia_Ilustrada/Ciencias/Movimiento_Circular.htm, revisado el 17-Enero-2013

¹⁹ <http://www.fisicapractica.com/velocidad-tangencial-mcu.php>

4.1.2 Sensores infrarrojos CNY70

Los sensores CNY70 se probaron con el prototipo de la tarjeta electrónica, donde se verificó su funcionamiento desplazando al sensor sobre un encoder provisional trazando sobre una hoja de papel líneas de color negro intercaladas con espacios en blanco a diferentes distancias (Fig. 4-3). Cuando los sensores se enfrentaban a una superficie negra emitían un haz de luz a través de un diodo led, mientras que cuando se enfrenta a una superficie blanca, el diodo se apagaba. El procedimiento de prueba se lo realizó a diferentes velocidades de paso sobre las líneas blancas y negras, con la finalidad de observar en un osciloscopio los cambios de la onda generada por los sensores (Fig.4-4)

Fig. 4-3 Pruebas de funcionamiento de los sensores CNY70

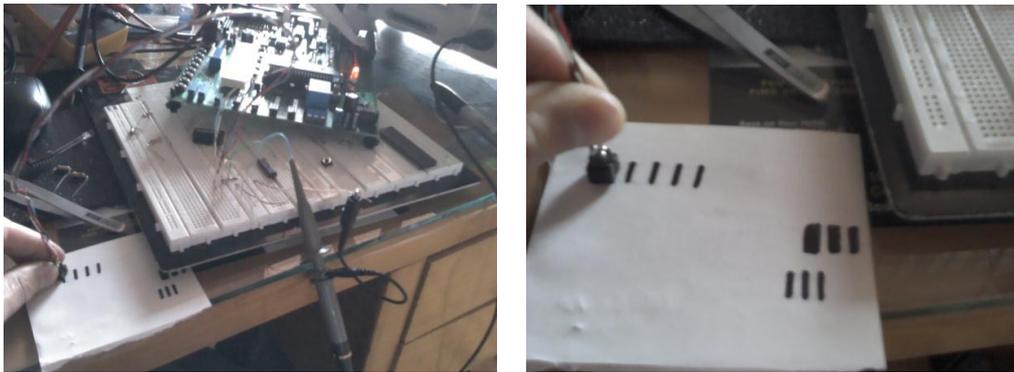
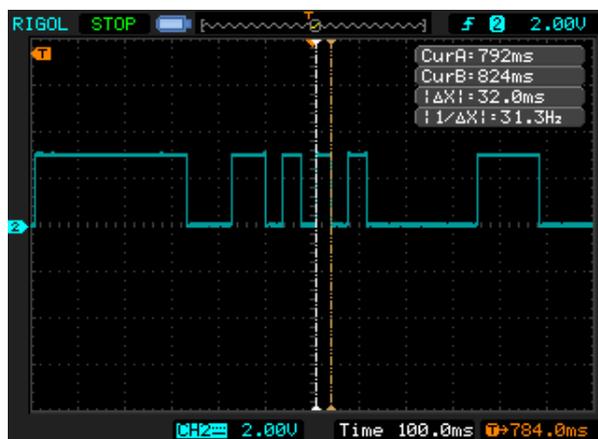
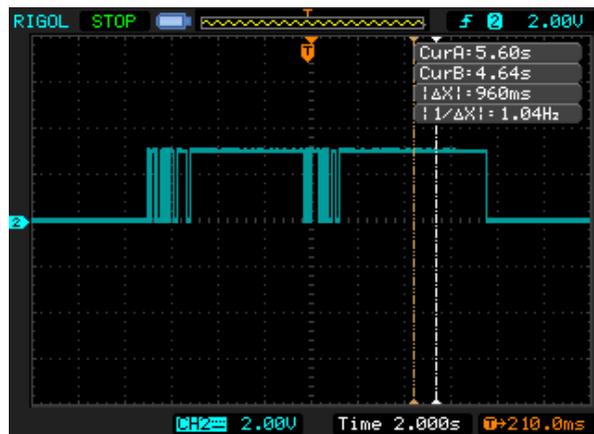


Fig. 4-4 Señal emitida por los sensores CNY70 en distintos períodos de tiempo

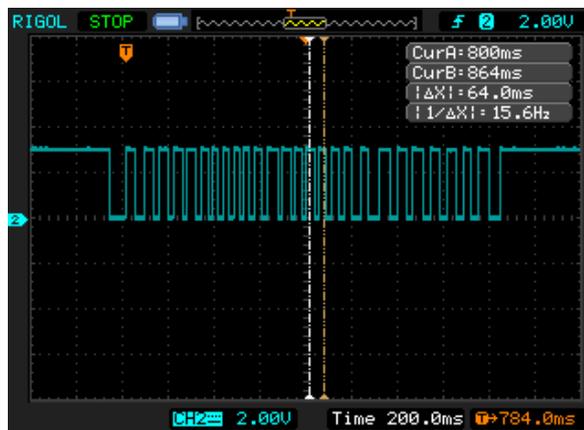
a) onda de señal captada en un lapso de 100 ms



b) onda de señal captada en un lapso de 2000 ms



c) onda de señal captada en un lapso de 200 ms



4.1.2.1 Diseños de Encoder utilizados

Para conseguir que los sensores infrarrojos detecten el sentido de giro en el volante fue necesario probar varios diseños de encoder (Fig.4-5) que si bien constaban con los canales A y B para detectar el giro de la dirección, la disposición de sus celdas no permitía obtener un patrón de señales que diferencien el giro a derecha e izquierda.

Después de algunas pruebas realizadas con los modelos de encoder a, b y c de la Fig. 4-5, se llegó al diseño definitivo de encoder (Fig. 4-5d) en el que los canales A y B se desplazaron 90° entre sí (Fig. 2-24), lo que permitió obtener con claridad los dos patrones de señales necesarios al girar el volante en uno u otro sentido. Las celdas

blancas y negras se intercalaron a un ángulo de 20° , dividiendo a la circunferencia en dieciocho partes iguales.

Fig. 4-5 Algunos de los diseños de encoder utilizados

Fig 4-5) a



Fig. 4-5) b



Fig. 4-5) c

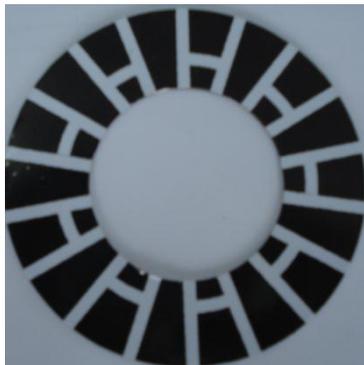


Fig. 4-5) d

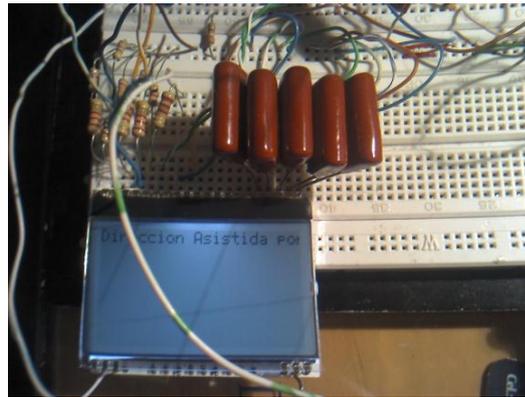


4.1.3 Tarjeta prototipo

El circuito para comandar el sistema de servo dirección eléctrica se divide en dos módulos, los mismos que en un inicio se realizaron en un protoboard debido a las ventajas que presenta en caso de ser necesaria alguna modificación en las conexiones (Fig. 4-6). Dichos circuitos son:

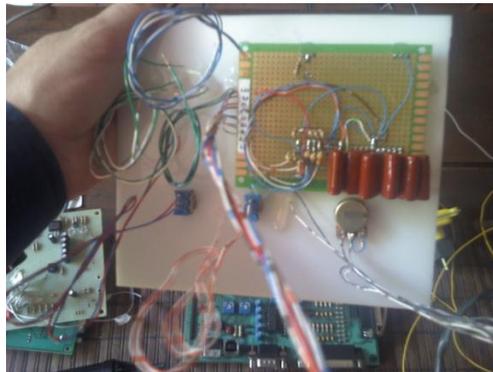
- Circuito de la tarjeta de control y visualización
- Circuito del driver del motor

Fig. 4-6 Circuito de prueba desarrollado en protoboard



Cuando se comprobó su correcto funcionamiento, los circuitos se desarrollaron en tarjetas prototipo de cobre (Fig. 4-7), en las que los componentes fueron soldados de una manera ordenada de tal manera que las conexiones queden seguras a fin de evitar un corto circuito.

Fig. 4-7 Circuito desarrollado en una tarjeta de cobre para prototipos



4.1.3.1 Descripción funcional del circuito de visualización y tarjeta de control

La tarjeta de control (Fig. 4-8) está conformada por un micro controlador de gama media PIC18F4550 U8 de Microchip que posee 40 pines, puede funcionar a más de 90 Mhz, puede ser programado con interface ICSP (in circuit serial programming) directamente desde la tarjeta sin necesidad de retirarlo cada vez de la tarjeta para programarlo.

El interruptor S3 es el que resetea todo el sistema en caso de fallo o colgada del micro controlador, el Buzzer LS1 es el que nos da señales acústicas para indicarnos que el sistema arrancó sin fallos, la pantalla LCD1 emplea una interface SPI, la cual nos permite comunicarnos con el micro controlador con 5 cables en vez de los típicos 10 cables de la interface paralela. Los partidores de tensión de SI, SCL, CS, A0 y RB0 tienen la finalidad de bajar la tensión de 5V a 3.3V para no quemar la pantalla LCD, ya que ésta funciona a 3.3V como voltaje máximo; la fuente de 3.3V regulada por el LM317 U9, es la encargada de proveer el voltaje de alimentación de la pantalla LCD.

La alimentación principal de la tarjeta de control consta de un dispositivo 7805 que transforma de 12V a 5V, para alimentar al micro controlador y otros componentes, la fuente además consta de un fusible de seguridad de 1A, y un inductor para eliminar el ruido de alta frecuencia.

4.1.3.2 Descripción funcional del driver del motor

Para comandar el motor eléctrico que generará la asistencia (driver del motor), primero se probó con un circuito de cuatro transistores de 56 A dispuestos en puente H. En un principio el circuito funcionó muy bien, pero a pesar de contar con un ventilador (Fig. 4-9) para evitar recalentamientos debido a la gran potencia requerida por el motor eléctrico, que bordea los 70 A, los transistores no resistieron y se quemaron (Fig. 4-10), por lo que hubo que diseñar un segundo circuito.

Fig 4-8. Diagrama de la tarjeta de control y visualización

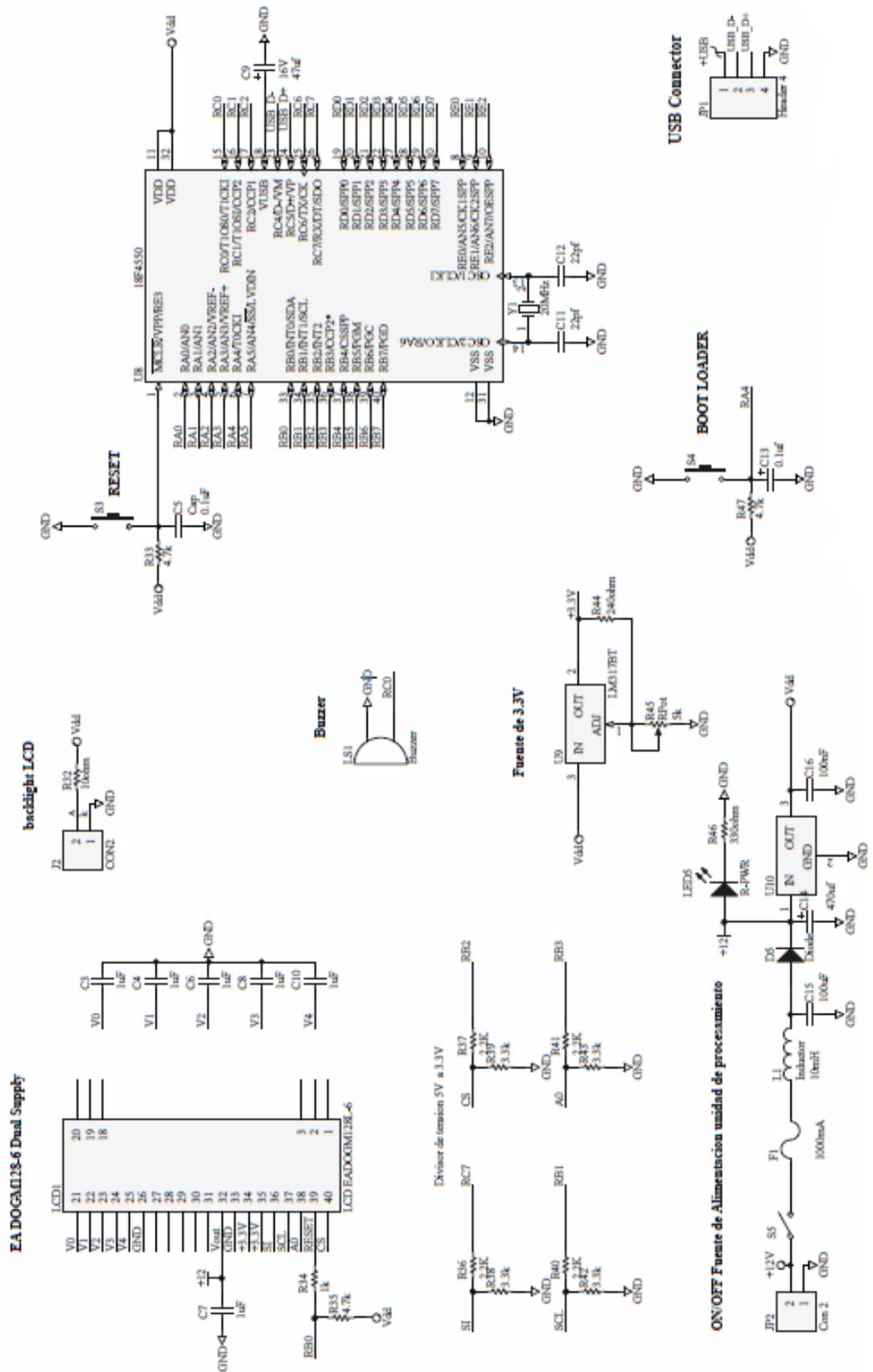


Fig. 4-9 Ventilador para evitar recalentamientos en el circuito



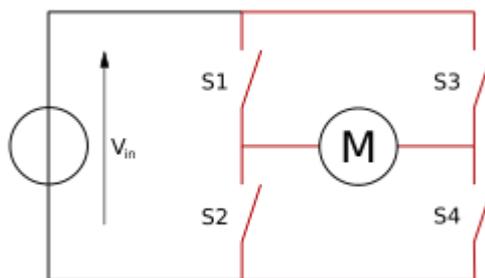
Fig. 4-10 Transistor quemado en pruebas con el circuito inicial



4.1.3.2.1 Puente H

El término "puente H" se refiere a la ubicación de los interruptores en el circuito (Fig. 4-11), se lo utiliza para controlar motores de corriente continua. Un circuito con puente H consta de 4 interruptores que trabajan de dos en dos, en este caso S1 con S4 y S2 con S3. Cuando S1 y S4 permanecen cerrados, S2 y S3 están abiertos, aplicando al motor una tensión positiva haciéndolo girar en un sentido; y al estar S2 y S3 cerrados y S1 con S4 abiertos, el motor girará en sentido contrario debido a que el voltaje se ha invertido. Cabe recalcar que nunca pueden estar cerrados al mismo tiempo los interruptores S1 con S2 ni tampoco S3 con S4 porque esto causaría un corto circuito.

Fig. 4-11 Circuito con interruptores en puente H



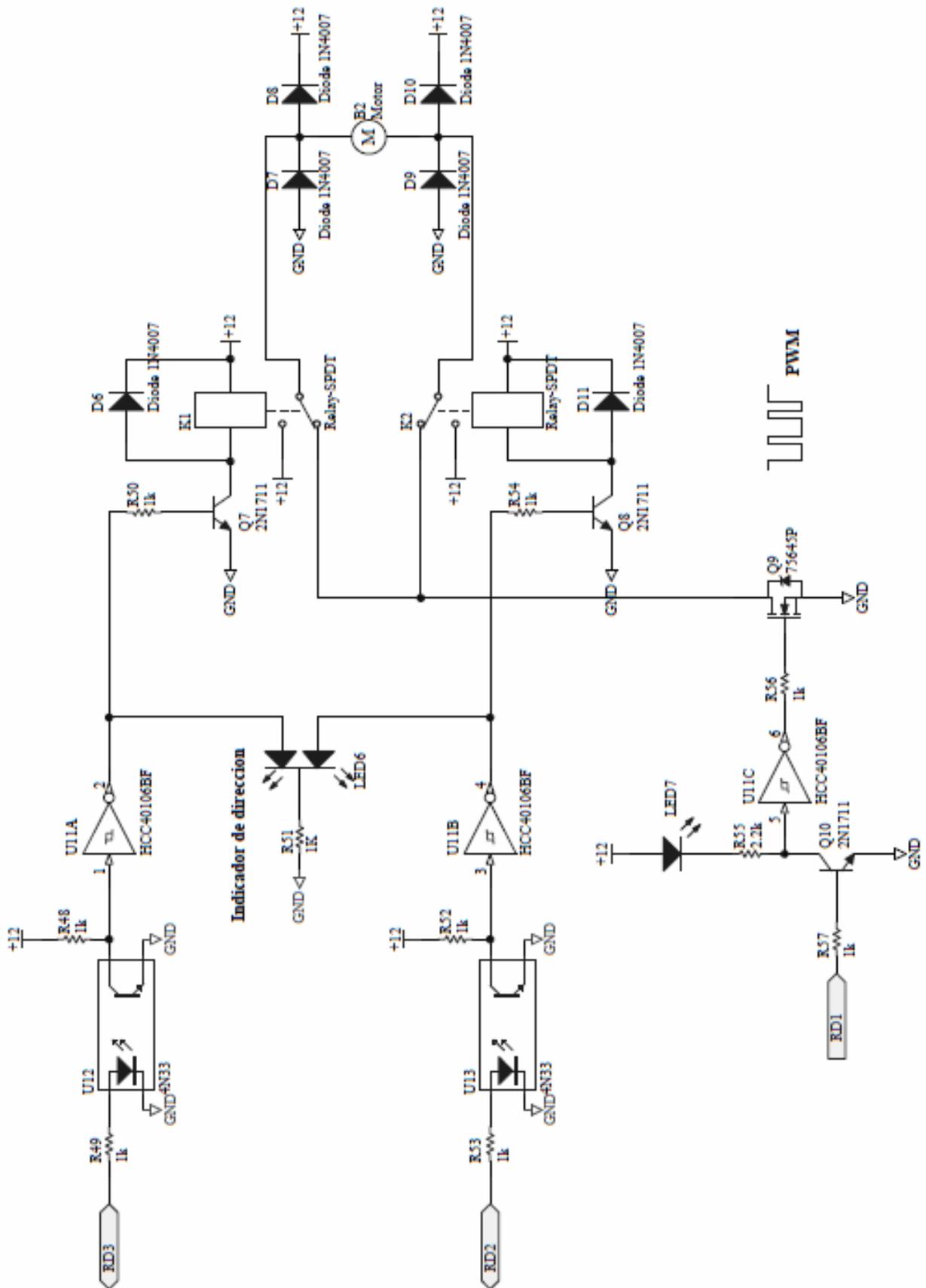
Fuente: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:H_bridge.svg, revisado el 22-Enero- 2013

El segundo diseño de circuito para comandar al motor eléctrico, fue de igual manera con disposición de puente H, pero a diferencia del primero, no se trabajó con cuatro transistores sino con dos relés y un transistor de 76 A (Fig. 4-12), con lo que el problema de recalentamiento se solucionó por completo.

Las señales RD2 y RD3, son controladas por el micro controlador e indican el sentido de giro del motor a derecha o izquierda respectivamente, los opto acopladores U12 y U13 son los que acoplan la señal del micro controlador de 5V a 12V, el integrado U11 es el encargado de amplificar la señal de salida del opto acoplador, los transistores Q7 Y Q8 activan los relés de potencia para dar el sentido de giro del motor según las señales antes mencionadas RD2 y RD3. Los diodos D11 y D6 son los que cortan los picos generados en las bobinas de los relés, mientras que los diodos D7, D8, D9 y D10 son los que eliminan los picos generados en el motor.

Para el manejo del motor no es posible utilizar en PWM (modulación de ancho de pulso) los relés, ya que a altas frecuencias las bobinas del relé se quedan pegadas, por eso se emplea un transistor de potencia IRF7564P Q9 para manejar la señal de PWM, este es un transistor diseñado para trabajar como interruptor a altas frecuencias. La señal de PWM del transistor Q9 se utiliza en el puente H formado por dos relés de potencia, esta señal es conectada en el PIN de normalmente cerrado NC, en el pin de normalmente abierto se conecta a 12V de ambos relés, la activación se debe asegurar por software, para que nunca se activen ambas señales al mismo tiempo, de manera que al girar a la derecha se activa un relé y al girar a la izquierda el otro. La activación del giro del motor es también indicada por el LED6.

Fig. 4-12 Circuito con dos relés y un transistor de 76 A en puente H



4.2 Pruebas en el vehículo

Luego de haber concluido con éxito las pruebas de laboratorio y por tanto comprobado el correcto funcionamiento de todos los circuitos y sensores del sistema, dimos paso a las pruebas en el vehículo para lo cual fue necesario volver a montar la columna de dirección en su sitio, previamente modificado para este fin, así como también se procedió al montaje del sensor de velocidad y la toma de señal de la bobina de encendido. Se adecuaron correctamente las líneas de alimentación de 12 V y GND (-) que alimentan al sistema, además del cableado de los sensores hacia las tarjetas electrónicas de control dispuestas en la consola central del vehículo.

4.2.1 Sensor Hall

El sensor hall utilizado dispone de tres cables que corresponden a: alimentación de 12V, señal y GND (-) (Fig. 4-13). Para comprobar el correcto funcionamiento del sensor, se embancó el vehículo, se hizo girar la rueda del lado donde se encuentra ubicado el sensor, y se conectó un osciloscopio para observar la forma de onda generada (Fig 4-1), así como también se pudo observar que la frecuencia es directamente proporcional a la velocidad de giro de las ruedas, pues a mayor velocidad del vehículo, mayor fue la frecuencia medida.

Fig. 4-13 Conexión del sensor hall en las tarjetas electrónicas de control



Luego de visualizar con el osciloscopio, lo que se hizo fue conectar directamente los cables de alimentación positiva y negativa del sensor a la batería del vehículo y hacer

girar la rueda para verificar que marque correctamente los valores de velocidad y se presentaron dos inconvenientes:

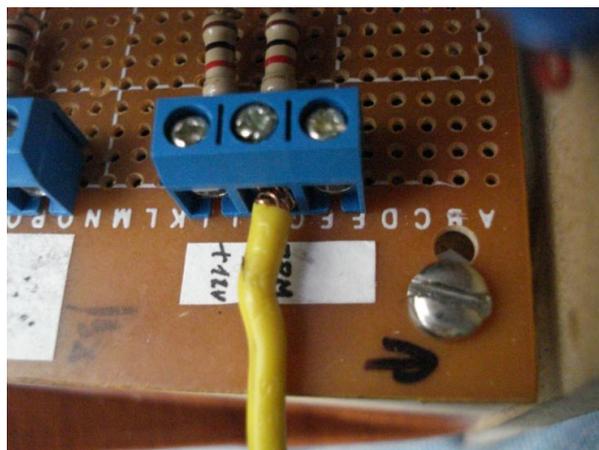
- Los valores que el sensor reflejaba eran erróneos
- Al momento de encender el vehículo, la señal de la pantalla indicadora se perdía.

Los dos problemas se solucionaron sin inconvenientes, pues en el primero únicamente se trataba de una programación errónea en el software del micro controlador, por lo que se lo reprogramó; y el segundo inconveniente se solucionó con el interruptor de conexión ON/OFF del sistema que protege a las tarjetas electrónicas de control de cualquier desperfecto que se podría generar por caídas de voltaje, ya que la señal de la pantalla se perdía por esta causa al momento de arrancar el motor de combustión.

4.2.2 Sensor de revoluciones por minuto

A continuación se conectó el cable que transmite la señal emitida por la bobina de encendido para indicar las revoluciones por minuto del motor (Fig. 4-14); con el que no se presentó ningún inconveniente y fue procesada correctamente por la unidad electrónica de control.

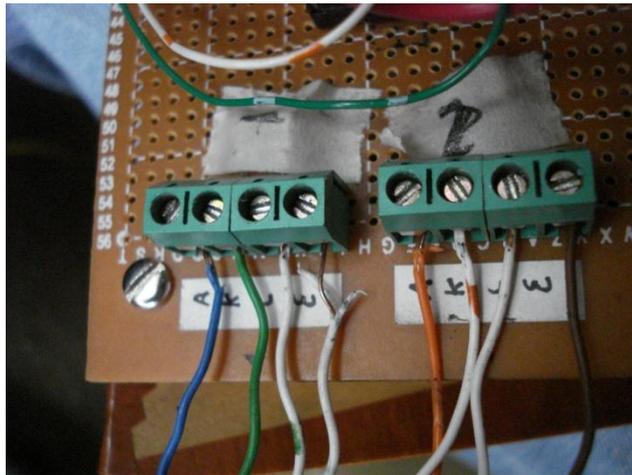
Fig. 4-14 Cable que mide la señal de rpm



4.2.3 Sensores CNY70

Una vez colocado el volante junto con el encoder en la columna de dirección, se calibró la distancia con respecto a los sensores infrarrojos CNY70 para evitar interferencias de señal causadas por filtraciones de luz y se realizaron las conexiones a la tarjeta electrónica (Fig. 4-15).

Fig. 4-15 Conexiones de los sensores CNY70



4.2.3.1 Pruebas con el vehículo apagado

Se giró el interruptor de encendido del vehículo hasta la posición ON para energizar el sistema, luego giramos el volante para verificar mediante los leds ubicados en el panel de control la correcta interpretación del sentido de giro a derecha e izquierda por parte de la unidad electrónica de control, a la vez que se pudo comprobar que la asistencia generada por el motor actuaba acorde a lo programado, brindando suavidad y confort.

4.2.3.2 Pruebas con el vehículo encendido

Los sensores infrarrojos funcionaron perfectamente con el vehículo apagado, pero al momento de encenderlo, debido al ruido electromagnético generado por sus componentes, se producía una interferencia que distorsionaba la señal recibida por el micro controlador (Fig. 4-16) y por ende la dirección no asistía correctamente. Para solucionar el problema, lo que se hizo fue conectar filtros en las líneas de ingreso de

señal de los sensores al micro (Fig.4-17), para de esta forma eliminar los picos que la distorsionaban y permitir su óptimo funcionamiento.

Fig. 4-16 Interferencia generada debido al ruido electromagnético en el vehículo



Fig. 4-17 Filtros para corregir interferencias de señal



4.3 Pruebas de funcionamiento del sistema de dirección eléctrica

4.3.1 Pruebas con el vehículo estacionado

Cuando ya el sistema funcionó correctamente, la primera prueba que se realizó fue con el vehículo estacionado, comprobando que la asistencia se genere en los dos sentidos de giro, así como también se verificó que el sistema deje de asistir cuando el interruptor de control del sistema se colocaba en la posición OFF.

Cuando el sistema se vuelve a encender, la posición del volante registrada en la pantalla de visualización siempre será al centro (Fig. 4-18), indistintamente si las ruedas se encuentran o no en dicha posición; esto se debe a que en el encoder no se pudo imprimir ningún distintivo para captar cuando las ruedas se encuentran en línea recta ya que el volante gira más de una vuelta completa (360°) y perjudicaría la asistencia brindada. Pero al virar a izquierda o derecha, el sistema capta enseguida el sentido de giro del volante y funciona con normalidad.

Fig. 4-18 Distintas posiciones del volante indicadas en la pantalla de visualización

Fig. 4-18 a) Centro



Fig. 4-18 b) Derecha



Fig. 4-18 c) Izquierda



4.3.2 Pruebas en maniobras de aparcamiento

Al momento de realizar maniobras para aparcarse el vehículo es cuando más se requiere de la asistencia en la dirección, por lo que al efectuar las pruebas para estacionar en espacios reducidos, se obtuvo un buen desempeño en la asistencia, reduciendo considerablemente la fatiga que se genera al ejecutar maniobras de este tipo en vehículos con dirección mecánica.

4.3.3 Pruebas en carretera

Para obtener los parámetros de funcionamiento de la asistencia eléctrica, circulamos con el vehículo en un campo abierto con una serie de obstáculos (Fig. 4-19) a diferentes velocidades en un rango de 1 km/h a 40 km/h, llegando a la conclusión de que sobre una velocidad de 30 km/h ya no era necesario que el motor eléctrico brinde asistencia, ya que al sobrepasar dicha velocidad la dirección se vuelve confortable por presentar una menor resistencia al giro de las ruedas.

Fig. 4-19 Maniobras para comprobar la correcta asistencia en la dirección





4.4 Calibración de la asistencia

Para calibrar la asistencia eléctrica de la dirección se utilizó el programa MPLABX, instalado en una computadora portátil, el mismo que permite realizar modificaciones en el software del micro controlador, con la finalidad de ajustar los parámetros de funcionamiento del sistema en cualquier momento, a través de un programador de micro controladores llamado ICD3 de microchip (Fig. 4-20)

Fig. 4-20 Programación del micro controlador utilizando el dispositivo ICD3



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Con la implementación al área automotriz del encoder utilizado en robótica, se amplía la posibilidad de dar soluciones a problemas generados en el sensor de torsión de cualquier sistema de dirección eléctrica asistida, independientemente de la marca del vehículo.
- Si bien el sistema de asistencia es eficiente, no se consiguió alcanzar la precisión esperada debido a las limitaciones tecnológicas del mercado local dado que se requiere de componentes electrónicos de potencia de alta gama que son escasos y por ende costosos.
- El sistema de dirección implementado contribuye con la protección del medio ambiente al suprimir el uso de líquido hidráulico que tendría que ser reciclado, como es el caso de la gran mayoría de los sistemas de dirección empleadas en los vehículos que se comercializan en nuestro país.
- Al momento de salir de una curva el volante no retorna a la posición central por sí solo, lo que se podría mejorar con la utilización de sensores infrarrojos más sofisticados y rediseñando el encoder de tal manera que el sistema determine el punto central de la dirección, lo cual no fue posible por falta de tiempo y recursos tecnológicos.
- Es recomendable emplear el diseño de tipo concurrente, que consiste en emplear elementos ya existentes que se comercializan en el mercado local, en vez de fabricarlos, con lo que se abaratan costos y se optimiza el tiempo de ejecución en cualquier proyecto.
- Antes de realizar cualquier tipo de adaptación electrónica en un vehículo, lo primero que se debe hacer es medir con un osciloscopio el ruido electromagnético generado por el funcionamiento del motor, para de esta forma verificar que no existan interferencias con el circuito a instalar. En caso de existir ruido electromagnético se lo puede minimizar empleando filtros en las líneas de ingreso de las señales hacia los micro controladores que disponga el sistema.

- Si en un sistema se utilizan sensores infrarrojos conjuntamente con un encoder, se debe tener cuidado en la calibración de la distancia entre los dos elementos ya que una separación excesiva da lugar a una mala interpretación de la señal emitida por el sensor, además se recomienda dotar al sistema de una carcasa que proteja de las posibles filtraciones de luz que pueden disminuir la eficiencia del sensor.

BIBLIOGRAFÍA

- ANGULO José María, *Micro controladores PIC*, Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, Madrid, 2007
- FONT Mezquita, José, *Tratado sobre Automóviles, Tomo IV. La Dinámica del Automóvil*, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2006
- GIL Hermogenes, *Manual de Diagnosis del Automóvil*, Grupo editorial CEAC, 2007
- LUQUE Pablo, ÁLVAREZ Daniel, VERA Carlos, *Ingeniería del Automóvil*, Editorial Thompson, Madrid, 2004
- LHEMANN Stefan y HART Wolfram, *Microcontroladores PIC*, Marcombo. Barcelona, 2008
- MANUAL CEAC DEL AUTOMOVIL, Ediciones CEAC, S.A. España, 2004
- MOTT Robert L, *Diseño de Elementos de Maquina*, 4ta Edición, Grupo editorial Pearson Educación, México, 2006
- NORTON Robert L, *Diseño de Maquinaria*, 4ta Edición, Grupo editorial McGraw-Hill, México, 2009
- RIBBENS Wiliam, *Electrónica Automotriz*, Grupo editorial Limusa, México, 2007
- RICHARD G. Budynas y J. KEITH Nisbett, 8va Edición, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, Editorial McGraw-Hill, México, 2008

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- AFICIONADOS A LA MECÁNICA "Sistema de Dirección", <http://www.aficionadosalamecanica.net/direccion.htm>, revisado el 19-Mayo-2012

- EL AMAULE "Dirección eléctrica", <http://www.elamaule.cl/admin/render/noticia/18138>, revisado el 12-Junio-2012

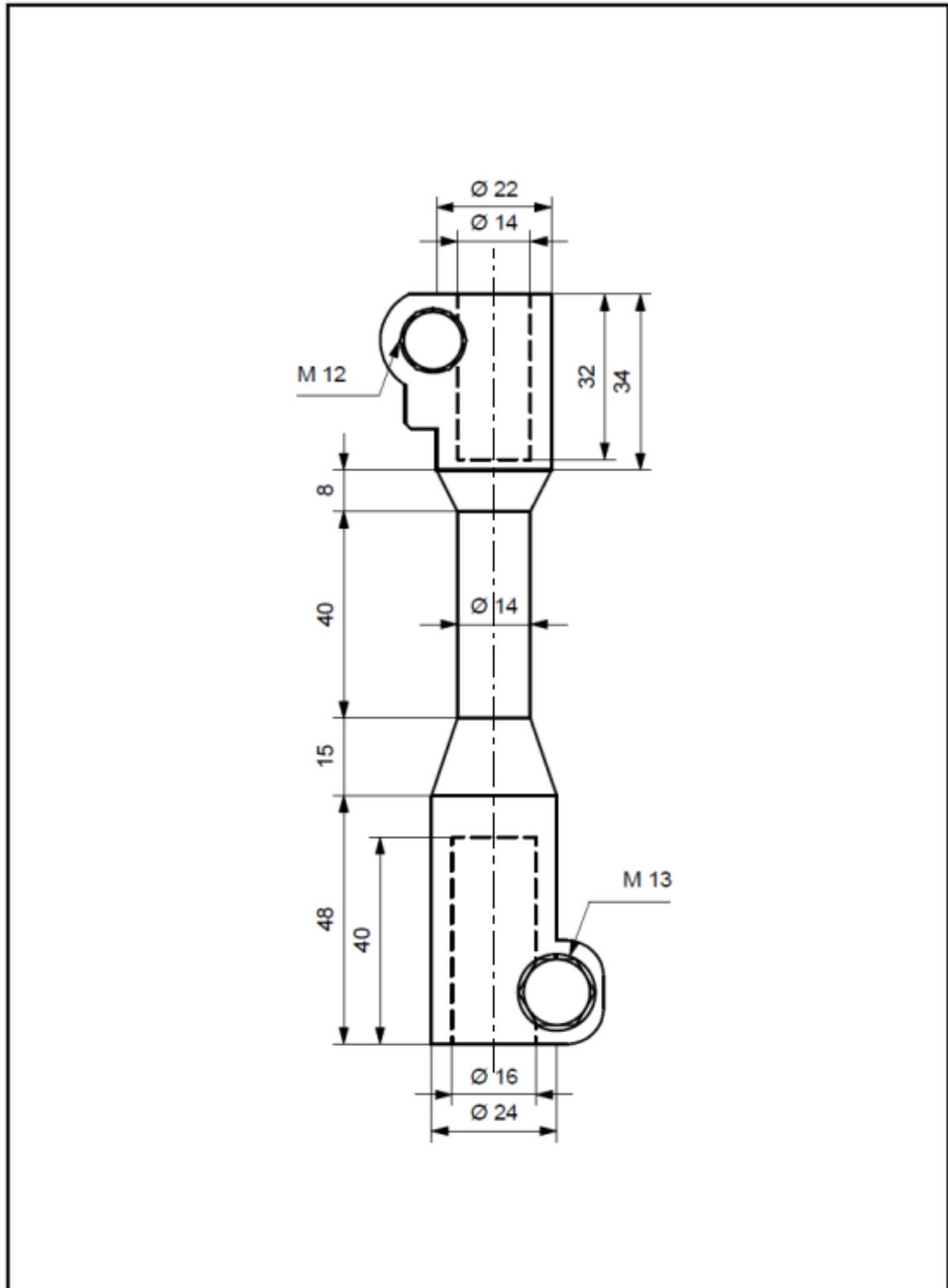
- MECÁNICA VIRTUAL "Dirección asistida electrónicamente", <http://www.mecanicavirtual.org/direccion-asistida-electr.htm>, revisado el 16-Marzo-2011

- ROBERT BOSCH "Electric Power Steering (EPS)", <http://rbkwin.bosch.com/es/es/powerconsumptionemissions/gasolinesystems/eps.html>, revisado el 3-Julio-2012

- SERVICE TRAINING VW "Dirección asistida electromecánica, diseño y funcionamiento", <http://www.christiani.es/pdf/83130-indice.pdf>, revisado el 22-Abril-2011

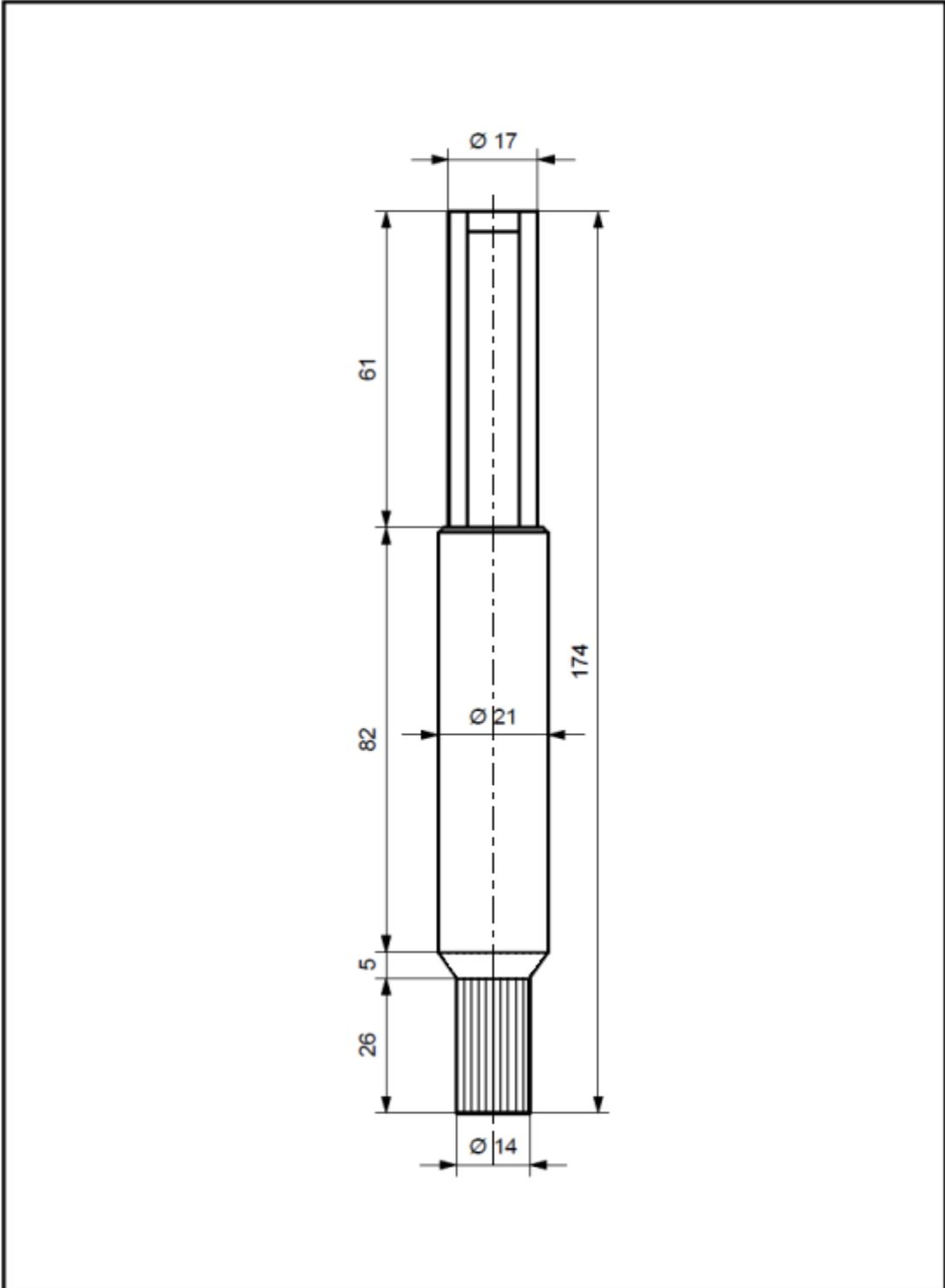
- YOUTUBE "Dirección electro asistida", <http://www.youtube.com/watch?v=sJtjs3lthM4&translated=1>, revisado el 7-Marzo-2011

Anexo 1: Plano del Eje A en mm



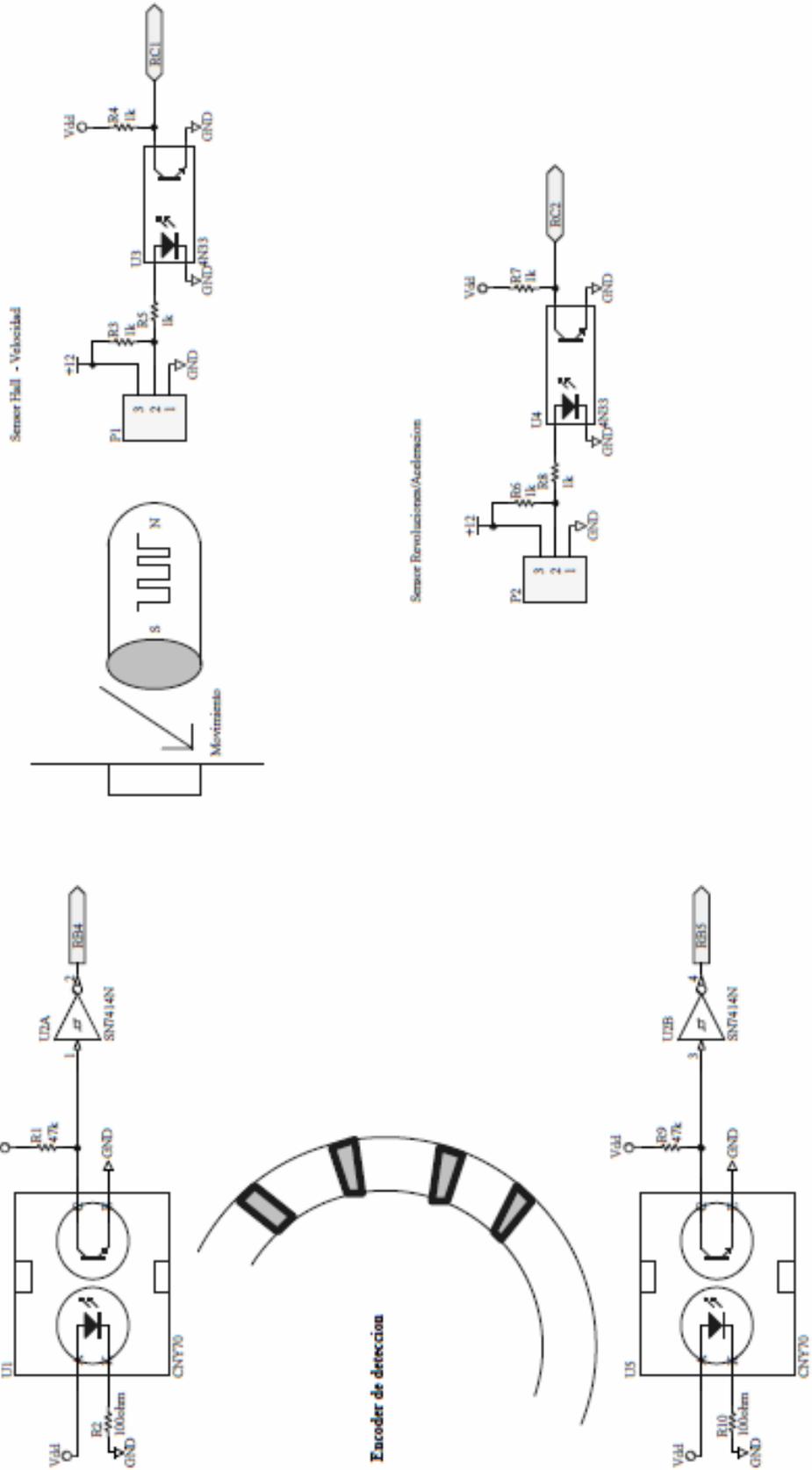
POS.	CANT.	DENOMINACION	NORMA	MATERIAL	NOTAS
Escala: 1:1	Fecha: 2012/Julio/20	Calif.:	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA		
EJE A					
			Especialidad: Ingeniería Automotriz	No.: 001	

Anexo 2: Plano del Eje B en mm



POS.	CANT.	DENOMINACION	NORMA	MATERIAL	NOTAS
Escala: 1:1		Fecha: 2012/Julio/20	Calif.:	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA	
EJE B			Dibujó: Berrezueta Roberto Martínez Sebastian		
			Especialidad: Ingeniería Automotriz		Trabajo de Graduación No.: 002

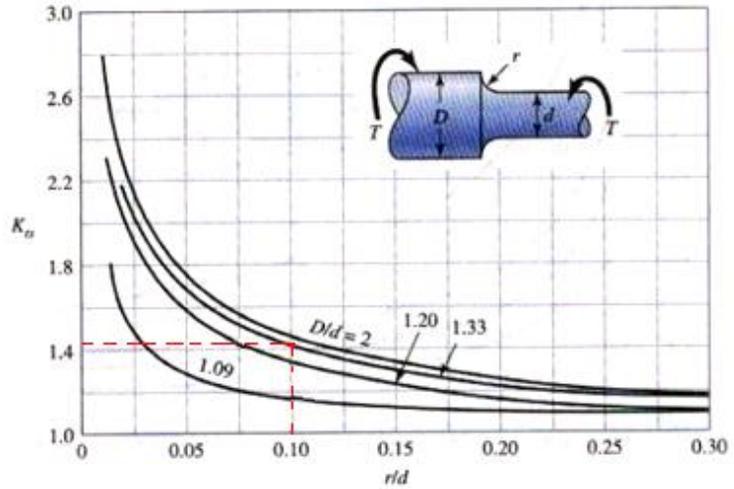
Anexo 3: Diagrama de sensores: infrarrojos y encoder, velocidad y rpm



Anexo 4: Gráfica de factor teórico de concentración del esfuerzo “*k_t*”

Figura A-15-8

Eje redondo con filete en el hombro en torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

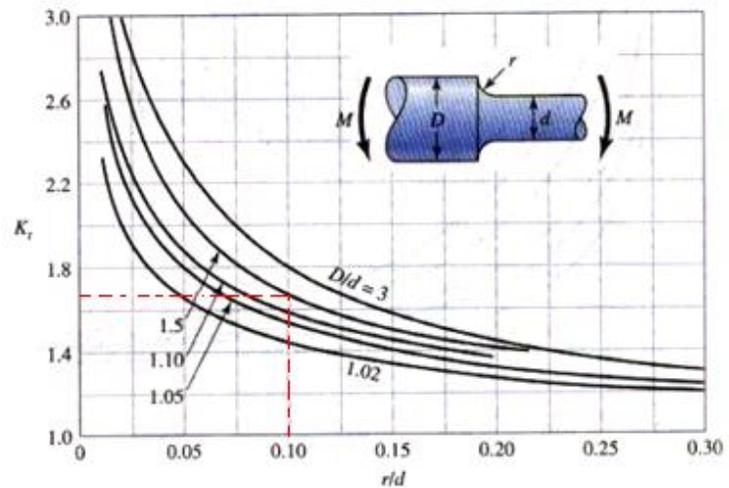


Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, pág 1008

ANEXO 5: Gráfica de factor teórico de concentración del esfuerzo “*k_t*”

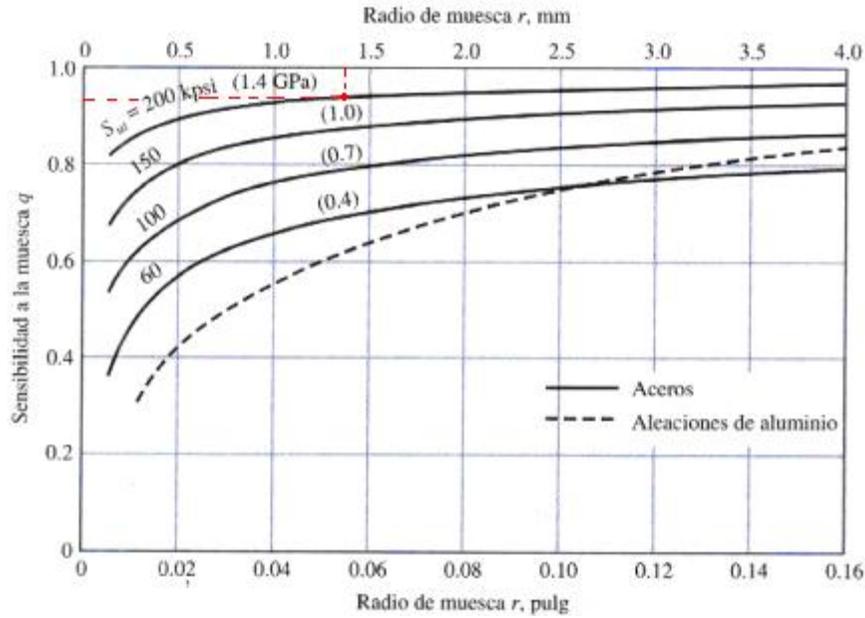
Figura A-15-9

Eje redondo con filete en el hombro en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ y $I = \pi d^4/64$.



Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, pág 1008

Anexo 6: Factor “q” de sensibilidad a la muesca de la carga de flexión y axial

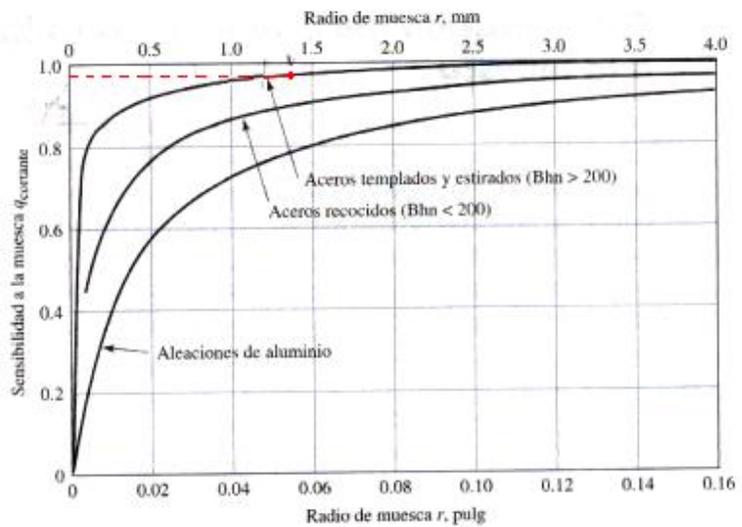


Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, pág 287

Anexo 7: Factor “q” de sensibilidad a la muesca para la carga cortante

Figura 6-21

Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa. En el caso de radios de muesca más grandes, use los valores de $q_{cortante}$ correspondientes a la ordenada $r = 0.16$ pulg [4 mm].



Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, pág 288

Anexo 8: Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin

Tabla 6-2

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin, ecuación (6-19)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
- Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Harger (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, pág 280

Anexo 9: Resistencia a la flexión y Resistencia a la fluencia de los materiales

Tabla A-20

Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD) [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm $\frac{3}{4}$ a 1 $\frac{1}{2}$ pulg]. Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, pág 1020