

Universidad  
de La Laguna

Escuela Técnica Superior de  
Ingeniería Civil e Industrial

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA CIVIL E  
INDUSTRIAL**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DE UN  
VEHÍCULO NO TRIPULADO**

**Titulación:** Grado en Ingeniería Industrial

**Alumno:** Irene Madrazo Ramil

**Tutor:** D. Alejandro Molowny López-Peñalver

**Marzo, 2016**



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

**ÍNDICE GENERAL**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**TÍTULO:**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO  
TRIPULADO**

**AUTOR:**

Irene Madrazo Ramil



**CAPÍTULO 1. ÍNDICE GENERAL**

**CAPÍTULO 1. ÍNDICE GENERAL ..... i**

**CAPÍTULO 2. MEMORIA .....1**

**2.0. Hoja de identificación ..... 3**

**2.1. Objeto ..... 5**

**2.2. Alcance ..... 6**

**2.3. Antecedentes ..... 7**

**2.4. Normas y referencias ..... 14**

**2.4.1. Bibliografía ..... 14**

**2.4.2. Páginas web ..... 14**

**2.4.3. Programas utilizados ..... 16**

**2.4.4. Material consultado ..... 16**

**2.5. Definiciones y abreviaturas ..... 17**

**2.6. Requisitos de diseño ..... 20**

**2.7. Análisis de soluciones ..... 23**

**2.8. Resultados finales ..... 28**

**2.9. Orden de prioridad en los documentos ..... 37**

**ÍNDICE DE FIGURAS. CAPÍTULO 2. MEMORIA..... 1**

**Figura 2.1. Coche Google .....8**

**Figura 2.2. Toyota en pruebas .....9**

**Figura 2.3. Prototipo Lutz Pathfinder .....9**

**Figura 2.4. Vehículo autónomo participante del DARPA Grand Challenge .....10**

**Figura 2.5. Aplicación móvil para el aparcamiento automático del Audi.....11**

**Figura 2.6. BMW Display Key.....11**

**Figura 2.7. Mercedes-Benz F 015 exterior .....12**

**Figura 2.8. Mercedes-Benz F 015 interior .....13**

**Figura 2.9. Mercedes-Benz F 015 interior (2) .....13**

**Figura 2.10. Aparcamiento por ultrasonidos .....25**

**Figura 2.11. Comunicaciones ITS (C2C).....26**

**Figura 2.12. Comunicaciones ITS (C2X).....26**

**Figura 2.13. Comunicaciones ITS .....28**

**Figura 2.14. Motor de acople y desacople (vista explosionada).....29**

**Figura 2.15. Interior del coche Google. Botón de parada de emergencia .....29**

**Figura 2.16. Cámara integrada en el salpicadero.....30**

**Figura 2.17. Cámara de infrarrojos .....30**

**Figura 2.18. Cámara estereoscópica .....31**

**Figura 2.19. Cámara HD.....31**

**Figura 2.20. LIDAR .....32**

<b>Figura 2.21. Cámara trasera .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 2.22. Sensor de ultrasonidos .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 2.23. iPad Pro .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 2.24. Mapa .....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO 3. ANEXOS .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1. Anexo I. Dirección asistida .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1.1. Introducción .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1.2. Definición .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1.3. Explicación matemática .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1.4. Finalidad .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1.5. Tipos .....</b>	<b>40</b>
3.1.5.1. Vacío .....	40
3.1.5.2. Hidráulica.....	40
3.1.5.3. Electrohidráulica .....	41
3.1.5.4. Eléctrica.....	42
3.1.5.5. Electromecánica.....	42
3.1.5.6. Otros tipos .....	45
<b>3.1.6. Ventajas e inconvenientes.....</b>	<b>45</b>
3.1.6.1. Tipos de dirección asistida .....	45
3.1.6.2. Tener o no dirección asistida .....	48

**ÍNDICE DE FIGURAS. CAPÍTULO 3. Anexo I. Dirección asistida..... 38**

**Figura 3.1.1. Situación de los elementos que componen la dirección hidráulica.....41**

**Figura 3.1.2. Componentes de la dirección electromecánica .....43**

**Figura 3.1.3. Despiece de los componentes de la dirección electromecánica .....43**

**Figura 3.1.4. Elementos encargados de la parte electrónica de la dirección asistida 44**

**ÍNDICE DE TABLAS. CAPÍTULO 3. Anexo I. Dirección asistida..... 38**

**Tabla 3.1.1. Ventajas VS. Inconvenientes entre los tipos de direcciones.....45**

**Tabla 3.1.2. Ventajas VS. Inconvenientes de tener dirección asistida .....48**

**3.2. Anexo II. Asistentes de la conducción ..... 49**

**3.2.1. Vehículos no tripulados .....49**

**3.2.2. Sistemas reguladores de velocidad .....49**

**3.2.2.1. Control de cruceo ..... 49**

**3.2.2.2. Control de cruceo activo o control de cruceo adaptativo (ACC) ..... 50**

**3.2.3. Sistema de aparcamiento asistido (park assist) .....51**

**3.2.4. Asistente de mantenimiento de carril (lane assist) .....52**

**3.2.5. Asistente de corrección de la trayectoria LKS (Lane Keeping System).....52**

**3.2.6. Asistente de ángulo muerto .....53**

**3.2.7. Detector de fatiga.....53**

**3.2.8. Reconocimiento de señales.....54**

**3.2.9. Asistente anticolidión .....55**



<b>3.2.10. Frenada de emergencia (BAS) .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.11. Visión nocturna .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.12. Detección de peatones y ciclistas.....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.13. Faros con luz dinámica o faros direccionales .....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.14. Asistente de luz de carretera .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.15. Pantalla Head-Up (HUD) .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.16. Sistema pre-colisión (PCS) .....</b>	<b>60</b>
<b>3.2.17. Asistente de limitador de velocidad .....</b>	<b>60</b>
<b>3.2.18. Asistente para descenso en pendiente .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.19. Asistente para el arranque en pendiente (“Hill-Holder”).....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.20. Asistente de control electrónico de la estabilidad ESP.....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.21. Asistente de sentido contrario.....</b>	<b>63</b>
<b>3.2.22. Asistente de conducción en atascos (Traffic Jam Assist) .....</b>	<b>64</b>
<b>3.2.23. Piloto automático con asistencia de cambio de carril.....</b>	<b>64</b>

<b>ÍNDICE DE FIGURAS. CAPÍTULO 3. Anexo II. Asistentes de la conducción.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 3.2.1. Asistente ACC .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 3.2.2. Asistente de aparcamiento .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 3.2.3. Cámara trasera para facilitar el aparcamiento .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 3.2.4. Asistente de mantenimiento de carril .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 3.2.5. Asistente de ángulo muerto.....</b>	<b>53</b>

<b>Figura 3.2.6. Asistente detector de fatiga .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 3.2.7. Asistente de reconocimiento de señales.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 3.2.8. Asistente anticolidión.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 3.2.9. Asistente de frenada de emergencia .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 3.2.10. Asistente de visión nocturna .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 3.2.11. Asistente de visión nocturna (2).....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 3.2.12. Asistente de detección de peatones y ciclistas.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 3.2.13. Asistente de faros direccionales .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 3.2.14. Asistente de luz de carretera .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 3.2.15. Pantalla Head-Up.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 3.2.16. Asistente de limitador de velocidad .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 3.2.17. Asistente para el descenso en pendiente.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 3.2.18. Asistente para el arranque en pendiente.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 3.2.19. Asistente de control electrónico de la estabilidad .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 3.2.20. Asistente se sentido contrario.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 3.2.21. Asistente de conducción en atascos.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 3.2.22. Asistente de cambio de carril .....</b>	<b>65</b>
<b>3.3. Anexo III. Sensores y actuadores.....</b>	<b>66</b>
<b>3.3.1. Sensores .....</b>	<b>68</b>
<b>3.3.1.1. Clasificación .....</b>	<b>68</b>

3.3.1.1.1. Tipo de señal eléctrica de salida .....	68
3.3.1.1.2. Alimentación para su funcionamiento .....	69
3.3.1.1.3. Magnitud física a detectar .....	69
3.3.1.2. Características generales .....	69
3.3.1.2.1. Características estáticas .....	69
3.3.1.2.2. Características dinámicas .....	70
3.3.1.3. Tipos .....	71
3.3.1.3.1. Sensores de proximidad o presencia .....	71
3.3.1.3.2. Sensores de posición o distancia .....	73
3.3.1.3.3. Medidores de pequeños desplazamientos y deformaciones .....	75
3.3.1.3.4. Sensores de velocidad .....	76
3.3.1.3.5. Sensores de aceleración .....	76
3.3.1.3.6. Sensores de par y torsión .....	76
3.3.1.1.7. Sensores de carga.....	77
3.3.2. Actuadores .....	77
3.3.2.1. Actuadores eléctricos.....	77

**ÍNDICE DE FIGURAS. CAPÍTULO 3. Anexo III. Sensores y actuadores 66**

Figura 3.3.1. Funcionamiento de un sensor .....	68
Figura 3.3.2. Sensor inductivo.....	71
Figura 3.3.3. Sensor capacitivo .....	72
Figura 3.3.4. Sensor óptico .....	72
Figura 3.3.5. Sensor de ultrasonidos .....	73
Figura 3.3.6. Potenciómetro .....	73

<b>Figura 3.3.7. Encoders.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 3.3.5. (2) Sensor de ultrasonidos .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 3.3.8. Funcionamiento de un interferómetro láser .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 3.3.9. Dinamo tacométrica .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 3.3.10. Corriente continua .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 3.3.11. Corriente alterna .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 3.3.12. Corriente trifásica equilibrada .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 3.3.13. Partes de un motor .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 3.3.14. Motor paso a paso .....</b>	<b>79</b>
<b>3.4. Anexo IV. Automatización.....</b>	<b>80</b>
<b>3.4.1. Ventajas e inconvenientes de una conducción autónoma .....</b>	<b>82</b>
3.4.1.1. Ventajas .....	82
3.2.1.2. Inconvenientes.....	82
<b>3.4.2. Coche elegido (puertas + asientos) .....</b>	<b>83</b>
<b>3.4.3. Autómata programable .....</b>	<b>83</b>
<b>3.4.4. Dirección automatizada con posible intervención del ser humano en caso de emergencia .....</b>	<b>84</b>
3.4.4.1. Coche sin automatización.....	84
<b>3.4.5. Botón de emergencia .....</b>	<b>84</b>
<b>3.4.6. Asistentes de la dirección .....</b>	<b>85</b>
3.4.6.1. Sistema de asistencia a la conducción automatizada en autopista (AHDA) .....	85

3.4.6.2. Control de cruceo adaptativo-cooperativo .....	85
3.4.6.3. Control de la trayectoria del carril .....	88
3.4.6.4. Elementos necesarios.....	89
3.4.6.5. Detector de peatones y ciclistas .....	92
3.4.6.6. Asistente de prevención de obstáculos .....	95
3.4.6.7. Visión nocturna.....	96
3.4.6.8. Aparcamiento.....	96
3.4.6.9. Control electrónico de la estabilidad ESP .....	100
3.4.6.10. Conducción en un atasco.....	102
<b>3.4.7. Mapas de alta precisión .....</b>	<b>103</b>
<b>3.4.8. Elementos necesarios para la automatización .....</b>	<b>105</b>
3.4.8.1. Mapas de alta precisión.....	106
3.4.8.2. LIDAR .....	106
3.4.8.3. Sensor de ultrasonidos .....	106
3.4.8.4. Cámara estereoscópica.....	108
3.4.8.5. Cámara de infrarrojos .....	108
3.4.8.6. Cámara en el salpicadero.....	109
3.4.8.7. Cámara trasera .....	109
3.4.8.8. Cámara HD .....	110
<b>3.4.9. Motor de acople y desacople .....</b>	<b>111</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS. CAPÍTULO 3. Anexo IV. Automatización.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 3.4.1. Toyota en pruebas .....</b>	<b>85</b>

<b>Figura 3.4.2. Comunicación inalámbrica entre coches mediante comunicaciones ITS</b>	<b>86</b>
<b>Figura 3.4.3. Comunicaciones ITS entre coches</b>	<b>86</b>
<b>Figura 3.4.4. Comunicaciones ITS entre coches e infraestructuras</b>	<b>87</b>
<b>Figura 3.4.5. Cámara estéreo</b>	<b>89</b>
<b>Figura 3.4.6. LIDAR</b>	<b>89</b>
<b>Figura 3.4.7. LIDAR de un coche en pruebas de Toyota</b>	<b>90</b>
<b>Figura 3.4.8. Radar de un coche en pruebas de Toyota</b>	<b>90</b>
<b>Figura 3.4.9. Cámaras HD</b>	<b>91</b>
<b>Figura 3.4.10. Situación de los diferentes elementos</b>	<b>91</b>
<b>Figura 3.4.11. Visión de las cámaras para monitorizar el tráfico</b>	<b>92</b>
<b>Figura 3.4.12. Combinación de los dos sensores</b>	<b>93</b>
<b>Figura 3.4.13. Detección de peatones con la cámara frontal</b>	<b>93</b>
<b>Figura 3.4.14. Radar frontal</b>	<b>94</b>
<b>Figura 3.4.15. Desvío de la trayectoria</b>	<b>94</b>
<b>Figura 3.4.16. Asistente de prevención de obstáculos</b>	<b>95</b>
<b>Figura 3.4.17. Asistente de visión nocturna</b>	<b>96</b>
<b>Figura 3.4.18. Sensores de ultrasonidos de la parte delantera buscando sitio para aparcar</b>	<b>98</b>
<b>Figura 3.4.19. Sensores de ultrasonidos para calcular la distancia entre coches</b>	<b>99</b>
<b>Figura 3.4.20. Posición de los distintos elementos</b>	<b>100</b>
<b>Figura 3.4.21. Actuación del ESP</b>	<b>101</b>

<b>Figura 3.4.22. Mapa para la conducción automatizada .....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 3.4.23. Mapa para la conducción automatizada (2).....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 3.4.24. Ruta trazada de un coche autónomo.....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 3.4.25. Ejemplo de un mapa SIG .....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 3.4.26. Diagrama de tiempo Sfr04.....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 3.4.27. Conexión del motor de arranque.....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 3.4.28. Curvas del motor M74R. Corriente VS. Velocidad, tensión, par motor y potencia .....</b>	<b>113</b>
 <b>ÍNDICE DE TABLAS. CAPÍTULO 3. Anexo IV. Automatización.....</b>	 <b>80</b>
<b>Tabla 3.4.1. Bandas de frecuencia y sus aplicaciones .....</b>	<b>87</b>
 <b>3.5. Anexo V. Cálculos .....</b>	 <b>115</b>
<b>3.5.1. Introducción al sistema de transmisión de potencia piñón-cremallera.....</b>	<b>115</b>
<b>3.5.2. Datos del piñón y la cremallera .....</b>	<b>115</b>
<b>3.5.2.1. Redondeo de decimales .....</b>	<b>117</b>
<b>3.5.2.2. Programas utilizados.....</b>	<b>117</b>
<b>3.5.2.3. Definiciones y abreviaturas.....</b>	<b>117</b>
<b>3.5.3. Cálculo de los diferentes parámetros del piñón .....</b>	<b>120</b>
<b>3.5.3.1. Pasos .....</b>	<b>120</b>
<b>3.5.3.2. Ángulo de presión.....</b>	<b>123</b>
<b>3.5.3.3. Dimensiones del engranaje .....</b>	<b>123</b>
<b>3.5.3.4. Relación de transmisión y velocidades.....</b>	<b>125</b>

3.5.3.5. Desmultiplicación..... 126

3.5.3.6. Fuerzas..... 127

3.5.3.7. Esfuerzo flexionante ..... 128

3.5.3.8. Fatiga ..... 134

3.5.3.9. Resistencia a la picadura ..... 135

3.5.3.10. Tabla resumen con los resultados obtenidos ..... 138

3.5.4. Resistencia a la marcha .....138

**ÍNDICE DE FIGURAS. CAPÍTULO 3. Anexo V. Cálculos ..... 115**

**Figura 3.5.1. Dimensiones del engranaje recto .....124**

**Figura 3.5.2. Dimensiones del engranaje helicoidal.....125**

**Figura 3.5.3. Fuerza sobre los dientes de un engranaje helicoidal.....127**

**Figura 3.5.4. Factor de proporción del piñón,  $C_{pf}$  .....130**

**Figura 3.5.5. Factor por alineamiento del engranado,  $C_{ma}$ .....130**

**Figura 3.5.6. Factor de espesor de borde,  $K_B$ .....131**

**Figura 3.5.7. Factor dinámico,  $K_v$  .....133**

**Figura 3.5.8. Factor de geometría,  $J$  .....134**

**Figura 3.5.9. Efecto de la fuerza centrífuga en las ruedas .....140**

**ÍNDICE DE TABLAS. CAPÍTULO 3. Anexo V. Cálculos ..... 115**

**Tabla 3.5.1. Tabla de módulos y pasos unificados para engranajes .....121**

**Tabla 3.5.2. Factor de sobrecarga,  $K_o$  .....128**

**Tabla 3.5.3. Factor de tamaño,  $K_s$ .....129**



Tabla 3.5.4. Número de calidad para el cálculo de $K_v$ .....	132
Tabla 3.5.5. Factor de geometría para la resistencia a la picadura, $I$ .....	136
Tabla 3.5.6. Coeficiente elástico, $C_p$ .....	137
Tabla 3.5.7. Resumen de los resultados.....	138
Tabla 3.5.8. Valores de $C_x$ .....	139
Tabla 3.5.9. Valores del coeficiente de adherencia en función del tipo de pavimento y estado de los neumáticos.....	140

## **CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE LA DIRECCIÓN..... 142**

<b>4.1. Introducción a la dirección .....</b>	<b>144</b>
4.1.1. ¿Qué es la dirección? .....	144
4.1.2. Cualidades de la dirección .....	144
4.1.3. Funcionamiento de la dirección.....	146
<b>4.2. Automatización .....</b>	<b>147</b>
4.2.1. Coches automáticos. Introducción .....	147
4.2.2. Automática. Definición.....	148
4.2.3. Momentos clave en la historia de la automatización .....	148
4.2.4. Asistentes de la conducción.....	148
<b>4.3. Elementos de la dirección.....</b>	<b>149</b>
4.3.1. Disposición de los elementos con tren rígido y con suspensión independiente .....	154
4.3.2. Elementos necesarios para la automatización de la dirección.....	155

<b>4.4. Selección de la dirección automática .....</b>	<b>156</b>
4.4.1. Eje directriz .....	156
4.4.2. Configuración automotriz .....	157
4.4.3. Motor .....	158
4.4.4. Embrague .....	160
4.4.5. Caja de cambios.....	161
4.4.6. Sistema de suspensión .....	163
4.4.7. Caja de dirección.....	166
4.4.8. Dirección asistida.....	167
4.4.9. Ruedas .....	167
4.4.10. Frenos .....	168
4.4.10.1. Freno de estacionamiento.....	172
4.4.10.2. Sistema de mando de los frenos .....	172
4.4.10.2.1. Circuito hidráulico.....	172
4.4.10.2.2. Bomba de frenos .....	173
4.4.10.3. Servofrenos.....	175
4.4.10.4. Líquido de frenos .....	175
4.4.10.5. Sistema antibloqueo ABS .....	176
4.4.11. Parte automática .....	176

**ÍNDICE DE FIGURAS. CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE LA DIRECCIÓN 142**

<b>Figura 4.1. Orientación de las ruedas directrices por el giro del volante .....</b>	<b>144</b>
<b>Figura 4.2. Trayectoria seguida por la dirección .....</b>	<b>146</b>
<b>Figura 4.3. Sistema de dirección .....</b>	<b>147</b>
<b>Figura 4.3. Sistema de dirección (2).....</b>	<b>149</b>
<b>Figura 4.4. Volante.....</b>	<b>150</b>
<b>Figura 4.5. Columna de dirección.....</b>	<b>1151</b>
<b>Figura 4.6. Detalle piñón-cremallera de la caja de dirección.....</b>	<b>152</b>
<b>Figura 4.7. Puente delantero .....</b>	<b>153</b>
<b>Figura 4.8. Esquema del puente delantero esquematizado .....</b>	<b>153</b>
<b>Figura 4.9. Eje delantero rígido .....</b>	<b>154</b>
<b>Figura 4.10. Suspensión independiente .....</b>	<b>154</b>
<b>Figura 4.11. Configuración automotriz.....</b>	<b>158</b>
<b>Figura 4.12. Motor policilíndrico en línea .....</b>	<b>160</b>
<b>Figura 4.13. Pedal de embrague.....</b>	<b>161</b>
<b>Figura 4.14. Embrague acoplado (izquierda) y desacoplado (derecha) .....</b>	<b>161</b>
<b>Figura 4.15. Embragues planetarios de la caja de cambios automática .....</b>	<b>162</b>
<b>Figura 4.16. Palanca de cambios de un coche automático.....</b>	<b>162</b>
<b>Figura 4.17. Suspensión tren rígido.....</b>	<b>164</b>
<b>Figura 4.18. Suspensión independiente .....</b>	<b>164</b>
<b>Figura 4.19. Barra dividida en tres partes .....</b>	<b>165</b>

**Figura 4.20. Esquema dirección por cremallera .....165**

**Figura 4.21. Funcionamiento de la caja de dirección piñón-cremallera .....167**

**Figura 4.22. Rueda de automóvil .....168**

**Figura 4.23. Freno de tambor. Componentes.....170**

**Figura 4.24. Freno de disco. Componentes.....171**

**Figura 4.25. Freno de disco (2) .....171**

**Figura 4.26. Esquema del funcionamiento del circuito hidráulico .....172**

**Figura 4.27. Aplicación de la ley de Pascal al sistema de frenos .....173**

**Figura 4.28. Esquema de funcionamiento de la bomba de doble pistón.....174**

**CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO ..... 177**

**5.1. Introducción..... 177**

**5.2. Material ..... 178**

**5.3. Opiniones y datos ..... 179**

**5.4. Presupuesto de ejecución material ..... 179**

**5.5. Presupuesto total ..... 181**

**CAPÍTULO 6. PLANOS .....1**

**6.1. Elementos necesarios para la automatización**

6.1.1. Mapas de alta precisión ..... 1

6.1.2. LIDAR ..... 1

6.1.3. Sensor de ultrasonidos ..... 1

6.1.4. Cámara estereoscópica ..... 1

6.1.5. Cámara de infrarrojos ..... 1

6.1.6. Cámara en el salpicadero ..... 1

6.1.7. Cámara trasera..... 1

6.1.8. Cámara HD ..... 1

    6.1.8.1. Cámara ..... 1

    6.1.8.2. Soporte..... 1

**6.2. Colocación de los elementos necesarios para la automatización**

6.2.1. Mapas de alta precisión ..... 1

6.2.2. LIDAR ..... 1

6.2.3. Sensor de ultrasonidos ..... 1

6.2.4. Cámara estereoscópica ..... 1

6.2.5. Cámara de infrarrojos ..... 1

6.2.6. Cámara en el salpicadero ..... 1

6.2.7. Cámara trasera..... 1

6.2.8. Cámara HD ..... 1

**6.3. Elementos del sistema de dirección**

6.3.1. Volante .....1

6.3.2. Columna de dirección.....1

6.3.3. Sistema cardán .....1

6.3.4. Pasador que une la columna de dirección y el piñón.....1

6.3.5. Piñón .....1

6.3.6. Cremallera .....1

6.3.7. Pasador que une la cremallera y la barra de acoplamiento.....1

6.3.8. Barra de acoplamiento .....1

6.3.9. Pivote-mangueta .....1

6.3.10. Rótula.....1

6.3.11. Rueda .....1

**6.4. Acople y desacople**

6.4.1. Eje del motor .....1

6.4.2. Arandela de sujeción .....1

6.4.3. Piñón Bénédix .....1

6.4.4. Volante motor.....1

6.4.5. Armazón .....1

6.4.6. Bobina de campo.....1

6.4.7. Conmutador .....1

6.4.8. Escobillas .....1

<b>6.4.9. Relé .....</b>	<b>1</b>
<b>6.4.10. Batería .....</b>	<b>1</b>
<b>6.5. Ensamble</b>	
<b>6.5.1. Soporte y cámara HD.....</b>	<b>1</b>
<b>6.5.2. Rueda y otras partes .....</b>	<b>1</b>
<b>6.5.3. Sistema de dirección.....</b>	<b>1</b>
<b>6.5.4. Acople y desacople.....</b>	<b>1</b>
<b>6.5.5. Acople y desacople integrado dentro del sistema de dirección .....</b>	<b>1</b>





## **RESUMEN**

### **Título: Automatización del sistema de dirección de un vehículo no tripulado**

Se desarrollará en el presente trabajo la automatización del sistema de dirección de un vehículo no tripulado. Cualquier modelo de coche se puede adaptar con los elementos necesarios para que sea no tripulado, y eso es lo que se estudiará en este trabajo.

Se hablará de forma teórica sobre las distintas partes de la dirección y su función, también de los diferentes asistentes que hay en el mercado los cuales hacen posible que la conducción sea algo más autónoma, y sobre cómo diferentes marcas están fabricando prototipos que no necesitan conductor para moverse.

**Autor:** Irene Madrazo Ramil

**Tutor:** D. Alejandro Molowny López-Peñalver

**Fecha de lectura:** Marzo, 2016

Firmado: Irene Madrazo Ramil



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

**MEMORIA**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**TÍTULO:**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO  
TRIPULADO**

**AUTOR:**

Irene Madrazo Ramil



## **CAPÍTULO 2. MEMORIA**

<b>2.0. Hoja de identificación.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Objeto .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Alcance .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Antecedentes .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4. Normas y referencias .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.1. Bibliografía.....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.2. Páginas web .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.3. Programas utilizados .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.4. Material consultado .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5. Definiciones y abreviaturas.....</b>	<b>17</b>
<b>2.6. Requisitos de diseño .....</b>	<b>20</b>
<b>2.7. Análisis de soluciones .....</b>	<b>23</b>
<b>2.8. Resultados finales.....</b>	<b>28</b>
<b>2.9. Orden de prioridad en los documentos.....</b>	<b>37</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO 2. MEMORIA

Figura 2.1. Coche Google .....	8
Figura 2.2. Toyota en pruebas .....	9
Figura 2.3. Prototipo Lutz Pathfinder .....	9
Figura 2.4. Vehículo autónomo participante del DARPA Grand Challenge .....	10
Figura 2.5. Aplicación móvil para el aparcamiento automático del Audi.....	11
Figura 2.6. BMW Display Key.....	11
Figura 2.7. Mercedes-Benz F 015 exterior .....	12
Figura 2.8. Mercedes-Benz F 015 interior .....	13
Figura 2.9. Mercedes-Benz F 015 interior (2) .....	13
Figura 2.10. Aparcamiento por ultrasonidos .....	25
Figura 2.11. Comunicaciones ITS (C2C).....	26
Figura 2.12. Comunicaciones ITS (C2X).....	26
Figura 2.13. Comunicaciones ITS .....	28
Figura 2.14. Motor de acople y desacople (vista explosionada).....	29
Figura 2.15. Interior del coche Google. Botón de parada de emergencia .....	29
Figura 2.16. Cámara integrada en el salpicadero.....	30
Figura 2.17. Cámara de infrarrojos.....	30
Figura 2.18. Cámara estereoscópica .....	31

<b>Figura 2.19. Cámara HD .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 2.20. LIDAR .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 2.21. Cámara trasera .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 2.22. Sensor de ultrasonidos.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 2.23. iPad Pro .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 2.24. Mapa .....</b>	<b>35</b>





Es el documento principal del proyecto, siendo el apartado descriptivo y explicativo del mismo. La memoria es el nexo de unión entre todos los documentos que definen el proyecto.

En este capítulo, se justificarán las soluciones adoptadas y se describirá de forma unívoca el objeto del proyecto.

Se expondrá de forma claramente comprensible, las alternativas estudiadas, ventajas e inconvenientes y razones que han conducido a la solución elegida.



## 2.0. Hoja de identificación

- **Título:** Automatización del sistema de dirección de un vehículo no tripulado
- **Autor:** Irene Madrazo Ramil
- **NIF:** 35477167-N
- **Titulación:** Grado en Ingeniería Mecánica
- **Encargado por:** Escuela técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial (Sección de Ingeniería Industrial). Universidad de La Laguna. Campus Anchieta.  
Avda. Astrofísico Fco. Sánchez s/n. 38206, San Cristóbal de La Laguna.  
Teléfono: 922-84-50-59  
Teléfono secretaria: 922-84-52-92
- **Encargado a:** Irene Madrazo Ramil
- **Tutor:** Alejandro Molowny López- Peñalver
- **Fecha:** Marzo, 2016
- **Dirección de correo electrónico:** alu0100613599@ull.edu.es
- **Firma:**

Firmado: Irene Madrazo Ramil



## **CAPÍTULO 2. MEMORIA**

### **2.1. Objeto**

El objetivo del proyecto se centra en la automatización de un vehículo no tripulado. Con los elementos necesarios, que se especificarán en el anexo IV del presente trabajo, en cualquier automóvil se puede adaptar el sistema de control de la dirección para hacerse no tripulado.

Se desarrollará un estudio detallado de la dirección, asistentes de la conducción que hay en el mercado, y los diferentes asistentes y elementos combinados que hacen posible que un coche se mueva sin conductor.

Hoy en día existen muchos asistentes de la conducción que hacen que el coche sea más autónomo en ciertas tareas como el aparcamiento y control de crucero, sin embargo, sólo se han probado prototipos que circulen sin nadie al volante. Con este tipo de coches a la venta se espera que la conducción sea más segura y tranquila, y sobre todo que se reduzca el número de accidentes por fallos humanos como un despiste o cansancio.

## 2.2. Alcance

El trabajo se centrará únicamente en la implementación de la dirección automatizada, los elementos necesarios para que pueda ser posible y los planos para su completa definición. Sin embargo, ha sido necesario el estudio de la misma de manera teórica, (componentes, definiciones o las diferentes configuraciones de los elementos que lo integran), descripciones de algunas partes importantes del conjunto del vehículo y todo lo que fuera necesario o aportara información relevante (en muchas ocasiones los asistentes relacionados con la dirección, la aceleración y el frenado se solapan).

También se explicarán los asistentes que permiten automatizar ciertas tareas y cómo se han llevado a cabo.

No forman parte del estudio proyecto las siguientes partes

- La automatización de la propulsión y el frenado.
- La elección de los sensores y actuadores. Aun así en el anexo III se incluye una pequeña recopilación de los más importantes y los tipos que hay.
- La elección del software.
- El lenguaje de programación.
- Diagramas de flujo del código.
- Estudio mecánico.
- Cableado y conexiones de los elementos utilizados.

## 2.3. Antecedentes

Todavía se han llegado a comercializar los coches con completa autonomía. Sin embargo, los asistentes de la conducción, como se verá en el anexo II, hacen que la conducción sea un poco más autónoma y muchas marcas los incorporan.

Éstos ayudan a aparcar, avisan cuando se sale de la autopista, incluso pueden llegar a frenar el coche en una situación de peligro. Se expondrán un par de ejemplos.

Park assist: Uno de los más comunes es la ayuda en el aparcamiento, que lo incluye la marca Ford.

Cuenta con unos sensores laterales para saber si el coche cabe en el aparcamiento. El propio coche será el que gire el volante lo que sea necesario y en el momento preciso para realizar la maniobra. Con unos sensores de ultrasonidos situados en el parachoques delantero y trasero evitarán rozar a los otros coches.

Alerta de cambio involuntario de carril: Este asistente avisa al conductor mediante una vibración en el volante, señal acústica o una señal en el panel, si se sale del carril sin haber accionado el intermitente. Está pensada para autopista donde se activa una vez rebasemos cierta velocidad que suele variar según diferentes modelos. El Ford S-MAX lo incluye.

Sin embargo, este aparcamiento no es totalmente autónomo ya que el conductor tiene que estar dentro accionando el freno y el acelerador y cambiando de marcha cuando sea necesario.

Algunas marcas ya han fabricado prototipos completamente autónomos, y algunos se han probado con muy buenos resultados. Lo principal que deben tener es una caja de cambios automática. Estos son algunos de ellos:

Coche google: Uno de los prototipos más famosos. Fabricado por el gigante de Internet desde 2009, este modelo ya se ha probado en las calles de California. No puede rebasar los 40 km/h por cuestiones de seguridad ya que carece de pedales y volante, y cuenta con un único botón para arrancarlo. Ya se ha visto implicado en 14 accidentes leve aunque en todos se dijo que la culpa fue del otro coche.

El ingeniero del proyecto Sebastian Thrun señaló en una ocasión “nuestros coches autónomos usan cámaras de vídeo, radares y un espectro láser para ver el tráfico además de mapas detallados”.



**Figura 2.1. Coche Google**

**Fuente:** [www.libertaddigital.com](http://www.libertaddigital.com)

Sistemas por control remoto: No es del todo autónomo porque es el conductor quien le da las órdenes al vehículo sin necesidad de encontrarse dentro.

Toyota Lexus LS: La marca está desarrollando un sistema para la conducción automatizada por autopista, con el prototipo que se aprecia en la figura 2.1.

Puede ir sin necesidad de intervención por parte del conductor, gracias al control de crucero adaptativo-cooperativo, con el cual se comunica con otros coches gracias a las comunicaciones ITS para saber su velocidad en cada instante y de esta forma accionar acelerador o freno para mantener siempre la distancia de seguridad.

Con el control de la trayectoria de carril, evitará que se salga de la autopista gracias a los sensores de ondas milimétricas, las cámaras de alta definición y un software de control.





**Figura 2.2. Toyota en pruebas**

**Fuente:** [www.motorpasion.com](http://www.motorpasion.com)

Programa AUTOPIA: Trabaja con vehículos autónomos desde 1998; primero con la instrumentación de los sensores y más tarde en la automatización de los actuadores del coche (desde el punto de vista del hardware y los aspectos tecnológicos). Se centran en el control del robot y no en la percepción, es decir lo que han “visto” previamente cuando han circulado por esa carretera.

Su política se basa en el sentido común, programarlo es muy difícil; sin embargo, un coche autónomo nunca podría estar seguro de las maniobras que efectuarán otros coches, sólo puede hacer supuestos entre varias opciones.

Londres: El gobierno ha proporcionado una inversión de 19 millones de libras para poder fabricar este prototipo llamado Lutz Pathfinder, que ya se ha probado en las calles de Londres. Se mueve orientado por cámaras, radares y sensores, además de circular autónomamente, permite también al conductor poder tomar el control del vehículo.



**Figura 2.3. Prototipo Lutz Pathfinder**

**Fuente:** [www.eleconomista.es/ecomotor/motor/noticias](http://www.eleconomista.es/ecomotor/motor/noticias)

Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA): consiguió en 1980 el primer vehículo que funcionaba mediante un radar láser y visión computarizada.



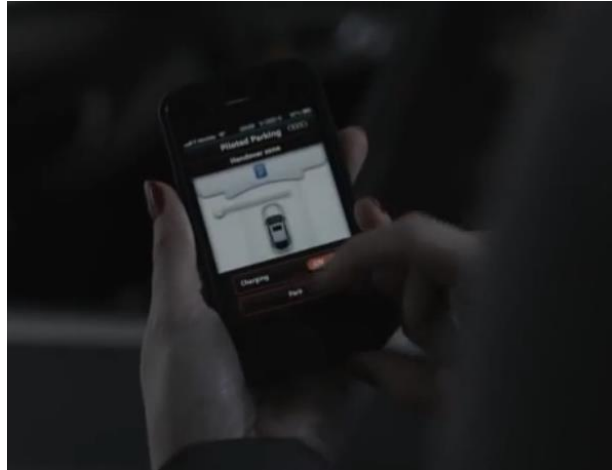
**Figura 2.4. Vehículo autónomo participante del DARPA Grand Challenge**

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

Conducción autónoma en atascos y aparcamiento sin conductor: Con estas dos novedades se presentan los Audi del futuro. El primero de ellos resulta novedoso, sin embargo, no es único, ya que otras marcas también lo han implementado en la actualidad.

Este asistente se activa a velocidades inferiores a 60 km/h para permitir una conducción totalmente autónoma con tráfico denso. Todo lo que puede afectar a la circulación del vehículo es monitorizado gracias a los múltiples sensores incorporados: cámaras de vídeo, radar delantero, escáneres láser, sensores de ultrasonidos... Todo el perímetro del coche está bajo control, y con esa información el sistema es capaz de manejar al coche de forma automática, siempre bajo ciertas circunstancias.

Sin embargo, la forma de aparcar sería algo totalmente diferente (que aún no se encuentra en el mercado). Con las tecnologías C2C y C2X el coche se mueve de manera autónoma por el aparcamiento gracias a una red WLAN, donde se comunica con el propio aparcamiento y con los demás coches. Para activarlo basta sólo con comunicárselo a través de una aplicación móvil y de igual forma se lo comunicaremos para recogerlo.



**Figura 2.5. Aplicación de móvil para el aparcamiento automático del Audi**

**Fuente:** [www.motorenlared.com](http://www.motorenlared.com)

Nuevo BMW serie 7: El nuevo BMW pretende sacar al mercado una novedosa forma de aparcarse totalmente diferente a lo conocido hasta ahora. Esta es una de las noticias más recientes que se han publicado (hace menos de 5 meses), y que saldrá a la venta este mismo año y será el primer coche que sacará al mercado un aparcamiento por control remoto sin la necesidad de estar dentro del vehículo.

Gracias a la BMW Display Key, podremos meter el coche en una plaza de aparcamiento y sacarlo sólo con dar la orden.



**Figura 2.6. BMW Display Key**

**Fuente:** [www.cincodias.com](http://www.cincodias.com)

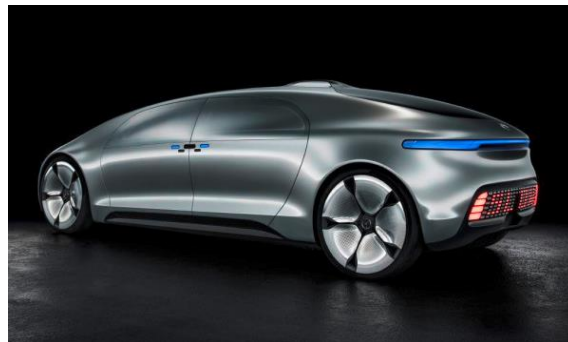
Mercedes-Benz: Otra de las marcas que ha presentado, a principios del 2015 en Las Vegas, su prototipo F 015; inteligente, ecológico, seguro, lleno de avances a la cabeza en tecnología y completamente autónomo.

Su espacio interior es muy grande (figura 2.8.), cuenta con 4 sillones giratorios de 180° y pantallas táctiles en el tablero y los paneles de la puerta.

Su chasis y carrocería están realizados aluminio y la fibra de carbono para un peso estimado en un 40% inferior al de uno convencional con el mismo tamaño. Cuenta con airbags externos como medida de protección, un conjunto de sensores, radares y cámaras para controlar todo lo que sucede a su alrededor.

Un sistema de LEDs que sirven para iluminación y para comunicación con el exterior, para comunicar a unos peatones que pueden pasar o para que el resto de conductores sepa si está en modo autónomo o conduce alguien.

El sistema híbrido de pila de hidrógeno y baterías eléctricas de última generación que ofrecen una autonomía superior a los 1.100 kilómetros. Cuenta con dos motores eléctricos que permiten una velocidad máxima de 200 Km/h y cero emisiones.



**Figura 2.7. Mercedes-Benz F 015 exterior**

**Fuente:** [www.muycomputer.com](http://www.muycomputer.com)



**Figura 2.8. Mercedes-Benz F 015 interior**

**Fuente:** [www.muycomputer.com](http://www.muycomputer.com)



**Figura 2.9. Mercedes-Benz F 015 interior (2)**

**Fuente:** [www.muycomputer.com](http://www.muycomputer.com)

## 2.4. Normas y referencias

### 2.4.1. Bibliografía

- Manual de automóviles.

Autor: Arias Paz. Editorial: Cie Dossat. 56ª edición (mayo 2006).

- Manual de CEAC del automóvil.

Publicación de grupo editorial CEAC. Ediciones CEAC (2004).

- Diseño de elementos de máquinas.

Autor: Robert L. Mott, P.E. Editorial: Pearson

### 2.4.2. Páginas web

- [www.google.es](http://www.google.es)
- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [www.youtube.com](http://www.youtube.com)
- [www.motor.es](http://www.motor.es)
- [www.mascoches.net](http://www.mascoches.net)
- [www.abc.es](http://www.abc.es)
- [www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)
- [www.hoy.es](http://www.hoy.es)
- [www.motorafondo.net](http://www.motorafondo.net)
- [www.seat.es](http://www.seat.es)
- [www.actualidadmotor.com](http://www.actualidadmotor.com)
- [www.frenomotor.com](http://www.frenomotor.com)
- [www.techcenter.mercedes-benz.com](http://www.techcenter.mercedes-benz.com)
- [www.eleconomista.es](http://www.eleconomista.es)
- [www.volkswagen.com.ar](http://www.volkswagen.com.ar)
- [www.conduceseguro.com](http://www.conduceseguro.com)
- [www.wordpress.com](http://www.wordpress.com)
- [www.automocionblog.com](http://www.automocionblog.com)

- [www.landrover-mexico.com](http://www.landrover-mexico.com)
- [www.auto10.com](http://www.auto10.com)
- [www.autoclase.com.ar](http://www.autoclase.com.ar)
- [www.xataka.com](http://www.xataka.com)
- [www.zensotec.com](http://www.zensotec.com)
- [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)
- [www.measurecontrol.com](http://www.measurecontrol.com)
- [www.sensoresdeproximidad.galeon.com](http://www.sensoresdeproximidad.galeon.com)
- [www.zonaindustrial.cl](http://www.zonaindustrial.cl)
- [www.ermec.com](http://www.ermec.com)
- [www.politube.upv.es](http://www.politube.upv.es)
- [www.motorpasion.com](http://www.motorpasion.com)
- [www.diariomotor.com](http://www.diariomotor.com)
- [www.antena3.com](http://www.antena3.com)
- [www.engadget.com](http://www.engadget.com)
- [www.lun.com](http://www.lun.com)
- [www.coches.net](http://www.coches.net)
- [wwwwhatsnew.com](http://wwwwhatsnew.com)
- [www.brinf.com](http://www.brinf.com)
- [www.apple.com](http://www.apple.com)
- [www.circulaseguro.com](http://www.circulaseguro.com)
- [www.e-volucion.es](http://www.e-volucion.es)
- [www.cochealdia.com](http://www.cochealdia.com)
- [www.elmundo.es](http://www.elmundo.es)
- [www.resources.arcgis.com](http://www.resources.arcgis.com)
- [www.arpem.com](http://www.arpem.com)
- [www.repuestoscamiones.es](http://www.repuestoscamiones.es)
- [www.aprendemostecnologia.org](http://www.aprendemostecnologia.org)
- [www.ulpgc.es](http://www.ulpgc.es)
- [www.sabelotodo.org](http://www.sabelotodo.org)
- [www.libertaddigital.com](http://www.libertaddigital.com)
- [www.cincodias.com](http://www.cincodias.com)

- [www.muycomputer.com](http://www.muycomputer.com)
- [www.opel.com](http://www.opel.com)
- [www.springerprofessional.de](http://www.springerprofessional.de)
- [www.tecnomagazine.net](http://www.tecnomagazine.net)
- [www.elandroidlibre.com](http://www.elandroidlibre.com)
- [www.superrobotica.com](http://www.superrobotica.com)
- [www.indiel.com.ar](http://www.indiel.com.ar)
- [www.demaquinas.blogspot.com](http://www.demaquinas.blogspot.com)

### **2.4.3. Programas utilizados**

El procesador de textos Microsoft Word 2010 para realizar el trabajo, y el programa de diseño Solidworks 2014 para crear todos los elementos necesarios para la automatización del automóvil, tanto en 3D como sus correspondientes planos en 2D.

### **2.4.4. Material consultado**

Además de los dos libros mencionados en el punto 2.4.1. y las numerosas páginas web de consulta y recolección de información, también se han utilizado los apuntes de la asignatura “automatización y control industrial”, especialmente el segundo capítulo centrado en los tipos de sensores y actuadores, los de “organización y gestión de proyectos” y los de “cálculo y diseño de máquinas II” para consultar los temas de engranajes.



## 2.5. Definiciones y abreviaturas

- **ACC:** Adaptive Cruise Control, Control de crucero adaptativo.
- **Park assist:** Sistema de aparcamiento asistido.
- **Lane assist:** Asistente de mantenimiento de carril.
- **LKS:** Lane Keeping System, asistente de corrección de la trayectoria.
- **BAS:** Brake Assist System, frenada de emergencia.
- **HUD:** Pantalla Head-Up.
- **PCS:** Pre-Collision System, sistema pre-colisión.
- **Hill-Holder:** Asistente para el arranque de pendiente.
- **ESP:** Control electrónico de la estabilidad.
- **Traffic Jam Assist:** Asistente de conducción en atascos.
- **AHDA:** Sistema de asistencia a la conducción automatizada en autopista.
- **ITS:** Intelligent Transportation Systems, sistema de transporte inteligente.
- **MHz:** Mega Hercios.
- **GPS:** Global Positioning System, sistema de posicionamiento global.
- **LIDAR:** Light and Ranging, Laser Imaging Detection and Ranging. Tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado.
- **HD:** High Definition, alta definición.
- **Km/h:** Kilómetros por hora.
- **Cm:** Centímetros.
- **Intelligent Drive:** Conducción inteligente.
- **C2C:** Car-to-Car
- **C2X:** Car-to-Infrastructure.
- **BMW Display Key:** Mando de la llave del nuevo BMW serie 7 para el aparcamiento a distancia.
- **WLAN:** Wireless Local Area Network, red de área local inalámbrica.
- **“Tuve in tuve”:** Secciones tubulares que entra una dentro de otra.
- **UCE:** Unidad de Control Electrónico.
- **SIG:** Sistemas de Información Geográfica.
- **AGV:** Automatic Guided Vehicle, vehículos de guiado automático.
- **PLC:** Programmable Logic Controller, autómatas programables industriales.

- **DOT:** Department of Transportation. Las especificaciones DOT son una medida de la calidad del líquido de frenos, se clasifican según su punto de ebullición; a mayor punto de ebullición, mejor respuesta de frenada.
- **GG:** Gastos Generales.
- **BI:** Beneficio industrial.
- **PEM:** Presupuesto de Ejecución Material.
- **IGIC:** Impuesto General Indirecto Canario.
- **DARPA:** Defense Advanced Research Projects Agency
- **LED:** Diodo emisor de luz, Light-emitting Diode.
- **m:** Módulo
- **Z:** Número de dientes
- $\varphi$ : Ángulo de presión:
- $\psi$ : Ángulo de hélice
- **L:** Longitud:
- **D<sub>e</sub>:** Diámetro exterior
- **D:** Diámetro primitivo
- **D<sub>int</sub>:** Diámetro interior
- **P:** Paso (también llamado paso circunferencial, pc)
- **P<sub>n</sub>:** Paso normal
- **P<sub>d</sub>:** Paso diametral
- **D<sub>p</sub>:** Diámetro de paso
- **P<sub>nd</sub>:** Paso diametral normal
- **P<sub>x</sub>:** Paso axial
- **s:** Espesor del diente
- **a<sub>c</sub>:** Addéndum o cabeza
- **a<sub>p</sub>:** Deddéndum o raíz
- **h:** Altura del diente
- $\varnothing_n$ : Ángulo de presión normal
- $\varnothing_t$ : Ángulo de presión transversal
- **F:** Ancho de cara
- **V<sub>t</sub>:** Velocidad línea de paso
- **P:** Potencia

- **P:** Par máximo
- **i:** Relación de transmisión
- **R<sub>d</sub>:** Desmultiplicación de la dirección
- **W<sub>t</sub>:** Fuerza tangencial o transmitida
- **W<sub>r</sub>:** Fuerza radial
- **W<sub>x</sub>:** Fuerza axial
- **S<sub>t</sub>:** Esfuerzo flexionante
- **K<sub>o</sub>:** Factor de sobrecarga
- **K<sub>s</sub>:** Factor por tamaño
- **K<sub>m</sub>:** Factor por distribución de carga
- **C<sub>pf</sub>:** Factor de proporción del piñón
- **C<sub>ma</sub>:** Factor por alineamiento de engranado
- **K<sub>b</sub>:** Factor por espesor de borde
- **m<sub>b</sub>:** Relación de respaldo
- **t<sub>r</sub>:** Espesor de la orilla
- **h<sub>t</sub>:** Profundidad total del diente
- **K<sub>v</sub>:** Factor dinámico
- **Q<sub>v</sub>:** Número de calidad AGMA
- **J:** Factor de geometría
- **S<sub>c</sub>:** Resistencia a la picadura
- **I:** Factor de geometría para la resistencia a la picadura
- **C<sub>p</sub>:** Coeficiente elástico
- **E:** Módulo de elasticidad
- **r:** Coeficiente de rodadura
- **P:** Peso del vehículo
- **F:** Resistencia a la rodadura
- **C<sub>x</sub>:** Coeficiente de penetración aerodinámica
- **f:** Coeficiente de adherencia
- **m:** Masa del vehículo
- **v:** Velocidad del vehículo

## 2.6. Requisitos de diseño

El proyecto se basa en la automatización de la dirección de un coche, no de ningún modelo en particular.

Sin embargo, sí que existen una serie de elementos que debe poseer para que pueda ser posible automatizar todo el sistema de dirección:

- Es fundamental que cuente con una caja de cambios automática. Cuando el vehículo circule sin conductor debe poder cambiar por sí sólo las marchas, al acelerar o frenar.
- Dirección electromecánica. Para implementar muchos asistentes a la conducción (como el aparcamiento asistido) esta debe ser el tipo de dirección asistida elegida.
- Software de control.
- Los numerosos sensores, cámaras y radares que se comentarán en el apartado 2.7.
- Un motor de acople y desacople para pasar que el conductor pueda tomar el control del vehículo en cualquier situación.

Las siguientes características generales que se expondrán a continuación, no son obligaciones, sino recomendaciones; una posible configuración de un coche en base a unos criterios que se detallarán en profundidad en el punto 4.4. del capítulo 4, estudio de la dirección.

Eje directriz: En la mayoría de los turismos es el eje delantero el que varía la inclinación longitudinal de las ruedas y suele ser el más común, aunque existan otras configuraciones.

Eje motriz: Es el eje donde irá colocado el motor. En numerosas ocasiones el eje motriz coincide con el eje directriz. Actualmente, apenas se fabrican automóviles con el motor situado en la parte trasera salvo algunos modelos particulares, así que el eje motriz será el delantero.

Tracción: Existen tres posibilidades: delantera, trasera o total. La tracción trasera se descartó porque es utilizada para vehículo de competición como la fórmula 1 y camiones por su elevado peso. Se pensó en tracción total, pero este tipo lo incorporan sobre todo los todoterrenos.

Las ventajas de la tracción delantera son el mayor espacio en el capó, mayor espacio interior, menor peso y mayor control del vehículo.

Orientación del motor: También existen tres configuraciones: motor delantero transversal, motor delantero longitudinal, motor delantero longitudinal central. Este último apenas se usa.

El motor transversal permite ahorrar espacio en el interior del habitáculo, y es la más habitual en los vehículos con tracción y motor delanteros, además de favorecer la adherencia en la conducción, ya que los componentes del tren motor se sitúan todos en la parte delantera.

Motor: Los motores de los turismos son de combustión interna, ya que ésta se produce en el propio motor, en donde se transforma la energía calorífica en energía mecánica para su funcionamiento.

Según el tipo de combustible utilizado puede ser gasolina o gasoil; esta elección no importa en absoluto en un coche automatizado, mas existen una serie de ventajas e inconvenientes que hacen que las personas se decanten por uno u otro. Se elegirá el de gasolina, pero se vuelve a repetir que este factor es irrelevante. En un futuro también podremos disponer de coches eléctricos.

El motor será de cuatro tiempos y contará con cuatro cilindros; la configuración de ellos será de línea (disposición para los motores de cuatro, cinco y seis cilindros).

Embrague: Todos los vehículos excepto los automáticos poseen este pedal que sirve para cambiar manualmente las marchas.

Está colocado en la prolongación del cigüeñal y permite al conductor controlar la transmisión del par motor desde el motor hacia las ruedas. Cuando se acciona el pedal, queda interrumpida la transmisión de movimiento entre el motor y la caja de cambios.

El coche podrá cambiar de modo automático a manual cuando se quiera, por ello, debe contar con el pedal de embrague cuando el conductor lo controle.

Sistema de suspensión: Su misión es absorber las desigualdades del terreno sobre el que se desplaza y mantener las ruedas en contacto con el terreno para proteger su carga, los componentes del automóvil y proporcionar comodidad y seguridad a los pasajeros.

La suspensión de los automóviles suele ser suspensión independiente para las ruedas delanteras, aunque también hay modelos que los montan sobre las traseras; pero será

suspensión será trasera, ya que la suspensión delantera no es muy apropiado para la tracción delantera.

La suspensión también puede ser rígida (o semirrígida) cuando se transmiten las vibraciones de una rueda a la otra por medio de la barra estabilizadora, lo que lo convierte en una conducción incómoda y que apenas se usa.

La suspensión independiente puede estar formada por dos barras o tres. Ésta última se usaba en la década de los cincuenta y sesenta.

Caja de la dirección: Existen varios tipos, pero los más utilizados han sido siempre el tornillo sin fin (está en desuso) y un dispositivo piñón-cremallera, que la llevan la mayoría de los coches.

Se encarga de la desmultiplicación y hace que los movimientos del volante se transmitan con facilidad a las ruedas pero no al revés.

Esta dirección se caracteriza por la sencillez de su mecanismo desmultiplicador y su simplicidad de montaje. Va unida directamente sobre los brazos de acoplamiento de las ruedas y tiene un gran rendimiento mecánico.

Debido a su precisión en el desplazamiento angular de las ruedas se utiliza mucho en vehículos de turismo, sobre todo en los de motor y tracción delantera, ya que disminuye notablemente los esfuerzos en el volante. Proporciona gran suavidad en los giros y tiene rapidez de recuperación, haciendo que la dirección sea muy estable y segura.

Frenos: Los tipos de frenos utilizados son el de disco y el de tambor.

En los frenos de disco, la fricción se causa por un par de zapatas que presionan contra la superficie interior de un tambor giratorio, el cual está conectado al eje o la rueda. En los segundos, el disco solidario de la rueda, es la pieza giratoria del freno, cuando las pastillas son presionadas contra él, se produce el rozamiento que provoca la frenada.

Actualmente, el freno de tambor es el utilizado en la mayoría de las ruedas traseras y delanteras, y será la distribución empleada; el freno de disco sólo se ve en las ruedas traseras, ya no se fabrica en las delanteras.

## 2.7. Análisis de soluciones

En este punto se expondrán las diferentes alternativas, y por qué se han elegido unas en vez de otras. No se hablará de la configuración del coche (ya que explicó en el punto anterior), ni tampoco sobre el software de control, el autómatas o el lenguaje de programación ya que esa parte no pertenece a este trabajo. Únicamente cómo se ha implementado la dirección automática entre las opciones que barajadas.

Dirección asistida: Como se habló en el punto 2.6, la elección de la dirección electromecánica es fundamental para que puedan funcionar diversos asistentes. En el anexo I, se habla detalladamente sobre ésta, y no sólo por su importancia a la hora poner en marcha una conducción autónoma, sino también lo útil que es para cualquier vehículo a bajas velocidades donde el esfuerzo para mover el volante es mayor.

Principalmente es la dirección más utilizada en turismos nuevos y de uso extendido junto con la eléctrica. Por lo tanto será más fácil encontrar recambios, en caso de necesidad, talleres, piezas... La hidráulica está cayendo en desuso y la electrohidráulica está a mitad de camino entre las dos. La electromecánica tiene las mismas características que la anterior, y mayores ventajas que comentaremos a continuación:

- Sensible a la velocidad: Sólo se activa cuando es necesario (menor consumo de combustible)
- Menor espacio: Carece de componentes hidráulicos. Así nos evitamos todo el cableado, posible fallos mecánicos, así como el líquido hidráulico.
- Menor consumo de combustible: Se acciona exclusivamente con el movimiento de dirección, perfecto para coches con un consumo de gasolina elevado.

El mayor problema de este tipo de servoasistencia, es que no es válido para todo tipo de vehículos, depende de del tamaño y el peso. En coches demasiado grandes no es viable, ya que se requeriría un par demasiado grande en el motor; muchos de los prototipos que se están fabricando son incluso más ligeros que otros con la misma carrocería, muchas veces se debe a los materiales empleados en su construcción (como el Mercedes-Benz F 015).

Aparcamiento: Se barajaron tres opciones posibles: el empleo de la tecnología C2X (Audi), la propia llave del coche que sería por control remoto (BMW Display Key), y mediante un juego de sensores de ultrasonidos estratégicamente colocados.

En la primera opción gracias a la tecnología Car-to-Infrastructure y Car-to-Car, el automóvil interactuaría de forma activa con el garaje y con los otros coches para poder aparcar. Basta con que le demos la orden de aparcar con una aplicación de móvil, para que vaya a efectuar la orden y cuando lo mandemos recogerlo (también vía Smartphone), saldrá del aparcamiento al lugar que esté programado para reunirse.

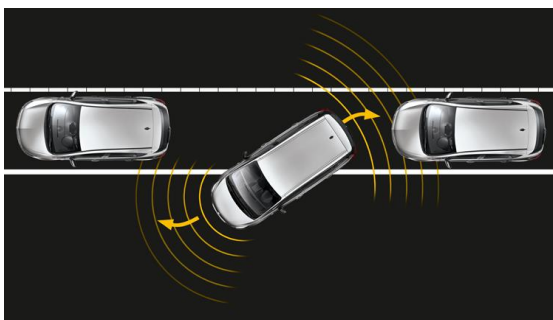
El centro de control instalado en el parking se pone en contacto con el coche por medio de una red inalámbrica y le pide datos sobre las dimensiones del vehículo, localiza la plaza más cercana que pueda servirle y le proporciona datos de navegación para llegar. El coche compara los mapas de navegación con lo que detectan sus sensores para no perderse mientras se mueve por el garaje a una velocidad lenta (de 5 a 10 km/h). En caso de riesgo, de pérdida de comunicación o de una orden directa dada por el propietario del vehículo, el coche se detiene al instante.

El inevitable inconveniente, de esta tecnología nueva y sorprendente, es que el garaje donde vaya a aparcar tiene que estar robotizado, ya que es una tecnología de comunicación inteligente (ITS).

La llave que sirve como control remoto, para que el coche aparque solito, se ha descartado, porque el objetivo del trabajo es automatizar la dirección, en el control remoto se necesita al usuario para mandar la orden. No es una automatización completa, que además sólo puede ir en línea recta

Todos estos motivos hacen que nos decantemos por la última opción, los sensores, el lugar donde se aparque no será un condicionante, y en muchas ocasiones se debe buscar un sitio en la calle (que puede no contar con la tecnología C2X), no siempre se dispondrá de un garaje.





**Figura 2.10. Aparcamiento por ultrasonidos**

**Fuente:** [www.opel.com](http://www.opel.com)

Volantes y pedales: El coche deberá contar con un sistema para cambiar el modo automático a manual y poder tomar su control. Por este motivo debe contar con un volante y el juego de pedales.

El coche google carece de ellos (cuenta con un botón de arranque y otro de parada), ya que no se fabricó para que lo controlase nadie, por este motivo la velocidad máxima que puede alcanzar son 40 km/h (aunque están pensando en añadirlos).

Muchas personas encuestadas, quieren poder tomar el control de un coche automático en cualquier momento y en muchos prototipos se puede (Mercedes-Benz F 015).

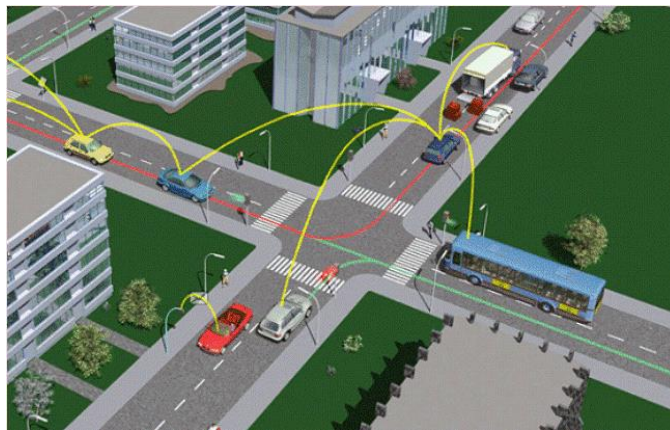
Control de cruce: Bastantes automóviles de gamas diferentes, cuentan con este asistente. Lo podemos encontrar en dos variantes: control de cruce y control de cruce activo.

En el primero de ellos, se pisa el acelerador hasta llegar a la velocidad deseada, lo activamos y nos mantendremos hasta que indistintamente pisemos el embrague o el freno donde se desactivará. En cambio el ACC, además de mantener la velocidad de cruce indicada, puede regular de manera activa y de forma inteligente el control de velocidad adaptándola a las situaciones reales sobre el tráfico para mantener una adecuada distancia de seguridad con el vehículo que nos precede. Una vez tengamos vía libre de nuevo, volveremos a acelerar a para tomar la velocidad preestablecida.

Mediante señales de radar detecta y nos avisa sobre la presencia de otros vehículos en nuestro camino.

En el punto 2.3. se comentó que la marca Toyota está trabajando en un prototipo con automatización completa en la autopista (AHDA), el cual utiliza comunicaciones ITS entre los coches para transmitir datos de navegación en tiempo real sobre aceleración y desaceleración, para saber cómo circulan poder actuar al respecto, pisando el acelerador o freno según las circunstancias.

Esta tecnología aún se comercializa pero supondrá un gran avance en el campo de las comunicaciones, también hablaríamos de tecnología C2C y C2X, y aunque supondrá una gran inversión, se ha seleccionado para la conducción en autopista por ser la más segura.



**Figura 2.11. Comunicaciones ITS (C2C)**

**Fuente:** [www.motorpasion.com/toyota](http://www.motorpasion.com/toyota)



**Figura 2.12. Comunicaciones ITS (C2X)**

**Fuente:** [www.motorpasion.com/toyota](http://www.motorpasion.com/toyota)

Mapas: El funcionamiento de un modelo no tripulado se basa en la incorporación de un ordenador interno dentro del coche, el cual está conectado al volante, freno y acelerador de forma interna, pero también tiene conexión externa a un GPS. El programa de ordenador es quien da las órdenes. Se sigue un mapa (previamente introducido en su memoria), y a medida que va avanzando, es el propio coche el que va tomando las decisiones de conducción adecuadas en cada momento según la velocidad, distancia de seguridad y otros parámetros a considerar, para llegar al lugar previamente acordado. Para todo esto, tiene que tener buenos mapas y una serie de cámaras, radares y sensores.

Es importante señalar que si un vehículo autónomo siguiera una ruta no recogida por el sistema se puede dar el caso que no pueda avanzar de forma coherente y normal.

Actualmente, Bosch está trabajando con el TomTom, el proveedor holandés de mapas y servicios de tráfico, para que suministre material para una conducción automatizada. Las novedades de estos mapas serán la alta precisión y las capas que contienen, con la ayuda de esta detallada información del carril, el coche automatizado podrá decidir cosas como por ejemplo cuándo y cómo cambiar de carril.

Sensores y cámaras: Se han seleccionado el rayo láser LIDAR, por la novedosa tecnología que supone, y porque puede girar 360°, para conseguir una imagen completa y nítida. Las cámaras deben ser de alta definición, para lograr la captura más precisa posible, y en el parabrisas una cámara estéreo; las cámaras tendrán diferentes rangos de alcance, en la parte delantera y trasera. Los sensores serán de ondas milimétricas e igualmente con diferentes alcances.

Visión por la noche: Contará también con una cámara de infrarrojos, para los momentos que exista muy poca visibilidad, de esta manera se evitará el uso de las luces de largo alcance que pueden llegar a deslumbrar a los otros conductores. Se barajó la posibilidad de una cámara térmica, sin embargo, ésta sólo servía para los cuerpos con sangre caliente, como las personas y animales, con los infrarrojos también apreciaremos los objetos inertes que se encuentren en la calzada, entre otros.

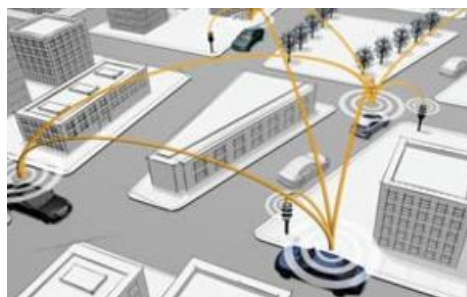
## 2.8. Resultados finales

Para automatizar la dirección se hará uso de varios elementos implementados en el vehículo. Estos se comentarán de forma exhaustiva y por separado en el anexo IV, por el gran volumen a tratar; en esta parte se hará una recopilación de los componentes y su función, tanto en conjunto como por separado.

El automóvil utilizará la tecnología ITS (C2C y C2X) para comunicarse de forma activa con los otros automóviles y con el entorno que le rodea y adquirir datos en tiempo real (información del tiempo, estado de las carreteras, tráfico) para tomar decisiones a partir de ellas.

Con ello se evitarían muchos accidentes, ya que sería una comunicación activa para evitar situaciones de peligro, por ejemplo, si un coche sale de la nada en una esquina con poca visibilidad o para reducir la marcha si el vehículo que está delante del nuestro hace lo mismo. También se podría variar automáticamente el rumbo de la ruta preestablecida para llegar al destino indicado, de la forma más eficiente por algo que se haya percibido en el momento (obras, una ruta más corta o un atasco).

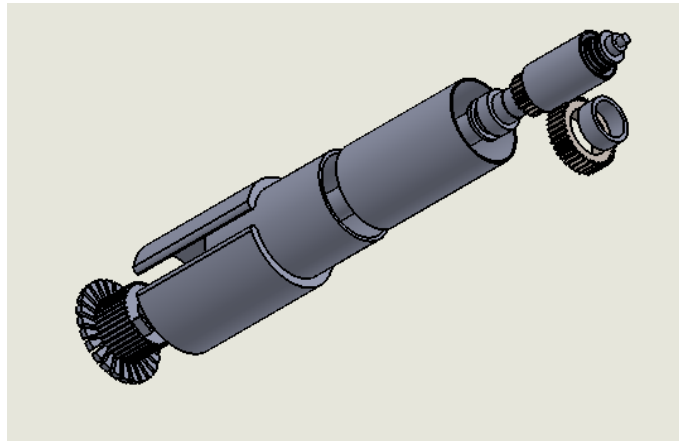
La tecnología ITS cuenta con gran cantidad de aplicaciones: sistemas de gestión como los que se encargan de la navegación en los coches, los sistemas de control de las señales de tráfico, señales de mensaje variable, reconocimiento automático de placas de matrícula, o cámaras de alta velocidad para monitorización.



**Figura 2.13. Comunicaciones ITS**

**Fuente:** [www.springerprofessional.de/servlet](http://www.springerprofessional.de/servlet)

En cada momento del trayecto se podrá pasar del modo autónomo al modo manual para volver a tomar el control del turismo. Así que el coche debe incorporar un volante, acelerador y freno (al ser la caja de cambios automática no tendrá embrague) y una transmisión automática, para que pueda efectuar el cambio de marchas por sí solo, cuando se circule sin intervención humana.



**Figura 2.14. Motor de acople y desacople (vista explosionada)**

**Fuente:** Elaboración propia

También cuenta con un botón de parada de emergencia, que actuará sobre los frenos y la dirección para estacionar en el primer sitio que encuentre libre y sin riesgos.

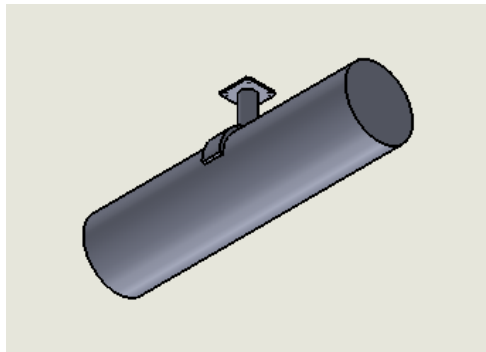
La siguiente imagen pertenece al interior del coche google, el botón rojo sería el de parada. Un botón estratégicamente colocado en un lugar visible, podría ser una opción viable.



**Figura 2.15. Interior del coche de Google. Botón de parada de emergencia.**

**Fuente:** [www.springerprofessional.de/servlet](http://www.springerprofessional.de/servlet)

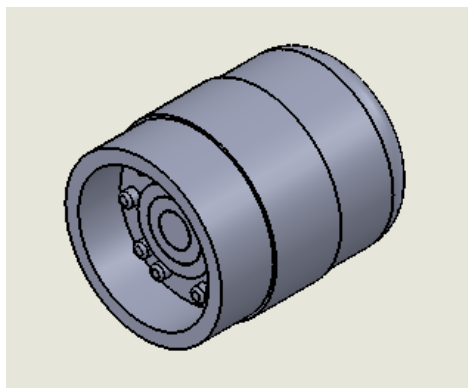
También incorporará una cámara integrada en el salpicadero que se activará en la conducción manual, para que vigile los comportamientos del ser humano, y no se adormile, suelte las manos del volante o pierda la concentración, mientras se utilicen los asistentes a la conducción (anexo II). Cuando se note alguno de ellos, se avisará al conductor de forma sonora, con un tirón de cinturón o en el panel para que recupere la atención de nuevo.



**Figura 2.16. Cámara integrada en el salpicadero**

**Fuente:** Elaboración propia

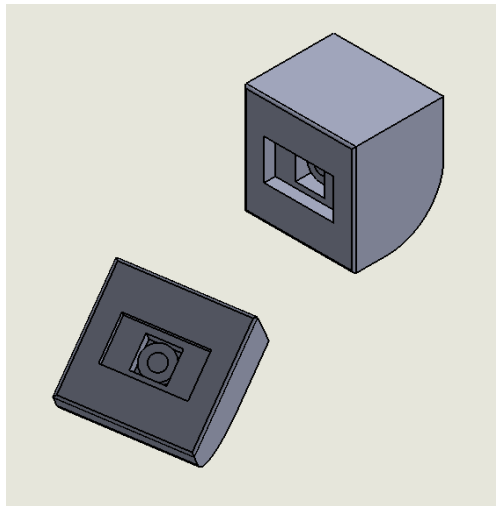
Contará con una cámara de infrarrojos, situada en la parte superior del parabrisas, de largo alcance (para detectar todo tipo de cuerpos) que se activará en zonas donde exista baja visibilidad u haya riesgo de deslumbrar al resto de conductores con la luces largas.



**Figura 2.17. Cámara de infrarrojos**

**Fuente:** Elaboración propia

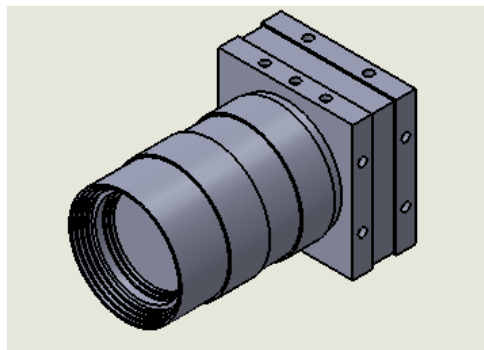
Gracias a la cámara estereoscópica, situada en la parte frontal que captura imágenes en tres dimensiones intentando simular el comportamiento del ojo humano, (dos objetivos capturan imágenes a la vez para crear una imagen real en 3D), se detectan las líneas divisorias delante del vehículo en la calzada, para mantener la trayectoria.



**Figura 2.18. Cámara estereoscópica**

**Fuente:** Elaboración propia

Y por último, dos cámaras HD situadas en la parte central, mirando hacia el exterior para detectar objetos, señales de tráfico, peatones y otros vehículos aproximándose para monitorizar las situaciones de tráfico.



**Figura 2.19. Cámara HD**

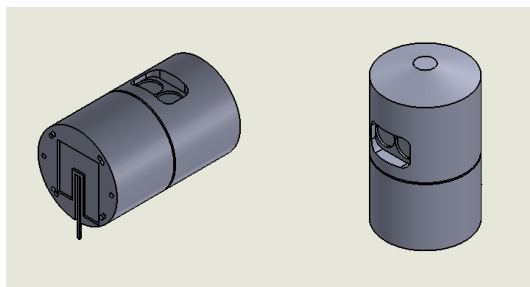
**Fuente:** Elaboración propia

Para diferenciar a peatones de otros objetos, la imagen que percibe con la cámara HD y uno de los sensores, la cruza con una base de datos que ayuda a detectar las formas de los peatones.

Si existirá en alguna ocasión riesgo de colisión contra algo (sea un objeto o una persona), el sistema actuaría sobre los frenos. Si el atropello no se pudiera evitar (a partir de una distancia mínima y dependiendo de la velocidad), se actuaría sobre el sistema de dirección para esquivarlo.

Utilizará un láser LIDAR que puede girar 360°; emite un pulso láser, que choca con el objeto a detectar, de esta forma se puede construir un mapa tridimensional sobre la situación del entorno, para calcular la distancia desde el coche hasta todos los objetos que le rodean (calculando el tiempo de vuelo).

Para realizar este escaneado se combinan dos movimientos, uno longitudinal dado por la trayectoria del coche y otro transversal mediante un espejo móvil que desvía el haz de luz láser emitido por el escáner.



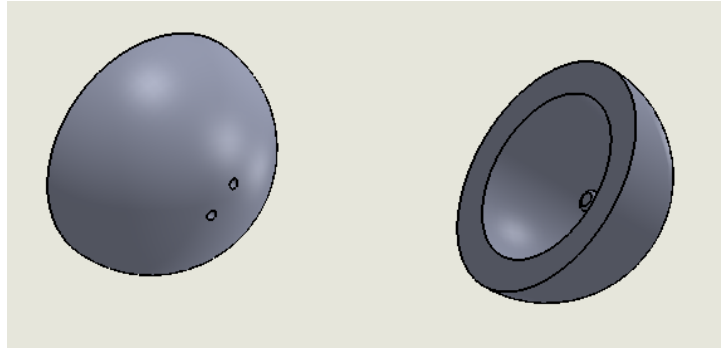
**Figura 2.20. LIDAR**

**Fuente:** Elaboración propia

También cuenta con radares de ondas milimétricas (radar de largo alcance, radar de medio alcance frontal y radar de medio alcance trasero) para analizar todo el entorno, además de ayudar en el aparcamiento.

La combinación de cámaras de alto rendimiento, radares de ondas milimétricas de diferentes alcances, hace posible una trayectoria de conducción óptima y suave a cualquier velocidad.





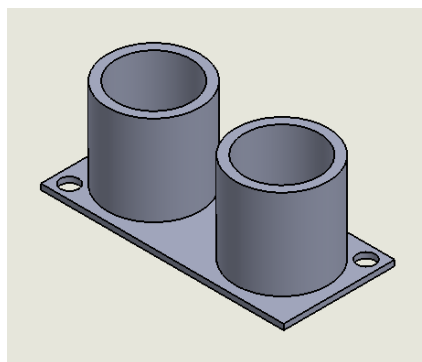
**Figura 2.21. Cámara trasera**

**Fuente:** Elaboración propia

El sistema ajusta el ángulo de dirección del vehículo, el par de transmisión y la fuerza de frenado cuando pueda ser necesario a fin de mantener una trayectoria óptima dentro del carril.

Para poder aparcar, el automóvil estará provisto de un total de 12 sensores de ultrasonidos. Cuatro de ellos, estarían colocados en la parte delantera del parachoques y otros cuatro en la trasera, (izquierda, centro izquierda, centro derecha y derecha) para medir mediante el cálculo del tiempo de vuelo de la onda, la distancia que existe entre coches (el emisor y receptor). Hay que dejar una distancia de seguridad mínima entre ambos coches.

Un sensor situado en cada extremo del parachoques trasero y delantero (cuatro en total), barrerá los huecos vacíos para saber si puede aparcar. Esa distancia debe ser la longitud del vehículo, más un espacio añadido de 80 cm (40 cm a cada lado).



**Figura 2.22. Sensor de ultrasonidos**

**Fuente:** Elaboración propia

El coche aparcará en batería, línea y entre columnas y la dirección estará totalmente automatizada. Gracias a la dirección asistida, el vehículo podrá mover el volante a velocidad muy baja y parado para enderezar las ruedas, cuando existirán mayores esfuerzos en la dirección.

Para implementar esta forma de aparcar, el sistema debe contar con dirección asistida electromecánica, provisto de un motor eléctrico para generar asistencia, y con el control electrónico de estabilidad.

El ESP debe reunir una unidad de control electrónico que interviene en los frenos o reduce el par, y cuya misión es comparar la información recibida por los sensores. Si el comportamiento del vehículo no coincide con la información de giro deseado, se frena la rueda más conveniente para poder recuperar el control de la dirección ante una situación de riesgo.

Los sensores incorporados son los siguientes:

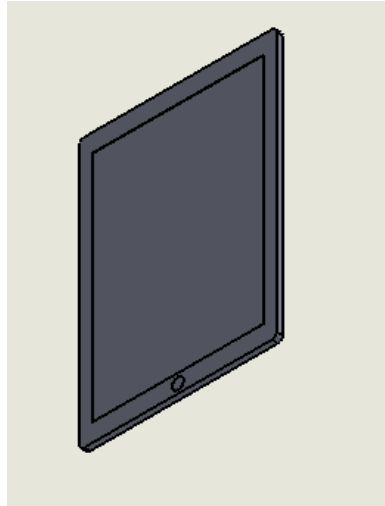
Un sensor de ángulo de dirección, que desde la columna de dirección informa del movimiento del volante.

Cuatro sensores de revoluciones (uno en cada rueda), que informan sobre los bloqueos de las mismas.

Un sensor de ángulo de giro y aceleración transversal que informan sobre el comportamiento real del vehículo.

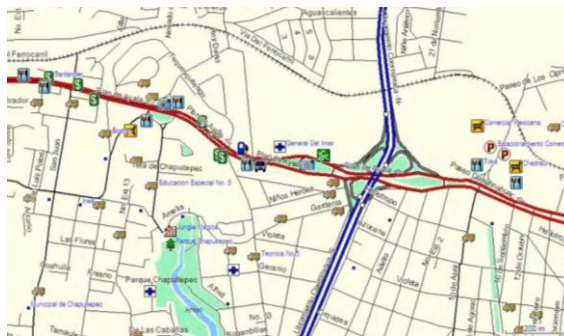
Además de existir la posibilidad de aparcar en un garaje robotizado con la tecnología C2X, siempre que se le diera la orden por Smartphone.

Los mapas tienen que ser precisos y actualizarse cada minuto, para que el coche pueda poseer información fiable en cada momento. Se reproducirán mediante el Ipad pro. Si se siguiera una trayectoria que no apareciera en el GPS, o no conociera de antemano podría hacer movimientos erróneos y sin sentido.



**Figura 2.23. iPad Pro**

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 2.24. Mapa**

**Fuente:** [www.frenomotor.com](http://www.frenomotor.com)

Como se dijo previamente, la automatización de la aceleración y el frenado, tampoco se analiza en este estudio, pero muchos de los elementos que se han introducido, también se usarán para automatizar esas partes, y serán comunes.

Con la unión de la dirección, la aceleración y el frenado (campo de otro proyecto), estaría cubierto todo lo necesario para automatizar un vehículo, además de la parte informática.

Por último, para su correcto funcionamiento, y que queda fuera del objetivo del proyecto, tiene que ir complementado con un software específico que nos proporcione en cada momento la posición exacta, su velocidad y la trayectoria tomada.

El software tratará de posibilitar la trayectoria de conducción óptima y suave a cualquier velocidad, ajustando el ángulo de giro, el par motor y la fuerza de frenado.

Habrà un autómata conectado con el volante, y con los mapas de TomTom. Deberà seguir la trayectoria previamente programada con un lenguaje específico, que también sale fuera del campo de estudio; el coche deberà seguir la trayectoria por el camino introducido en su memoria, pero deberà tomar múltiples decisiones antes de llegar a su destino: paradas en los semáforos, Stop, señales de tráfico, conflictos con otros conductores; para ello hará uso de los múltiples, sensores, radares y cámaras incorporados ya descritos para hacer suposiciones y elegir la correcta en cada momento.

## 2.9. Orden de prioridad en los documentos

En el proyecto no se ha añadido pliego de condiciones, puesto que no era necesario, ya que no se iba a aportar información relevante alguna; con la memoria, los planos y los diferentes anexos el proyecto estará completamente definido.

Ante discrepancias o incompatibilidades entre los documentos, se establecerá el siguiente orden de prioridad:

Planos

Memoria

Anexos

Presupuesto

El presupuesto va en último lugar porque resulta imposible hacer una estimación de un prototipo de coche que no se encuentra en el mercado ni hay nada parecido para poder comparar precios.



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

**ANEXOS**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**TÍTULO:**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO  
TRIPULADO**

**AUTOR:**

Irene Madrazo Ramil





## **CAPÍTULO 3. ANEXOS**

### **3.1. Anexo I. Dirección asistida**

<b>3.1.1. Introducción .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1.2. Definición .....</b>	<b>38</b>
<b>3.1.3. Explicación matemática.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1.4. Finalidad .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1.5. Tipos .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1.5.1. Vacío .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1.5.2. Hidráulica.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1.5.3. Electrohidráulica .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1.5.4. Eléctrica.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.5.5. Electromecánica.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.5.6. Otros tipos.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.6. Ventajas e inconvenientes .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.6.1. Tipos de dirección asistida .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.6.2. Tener o no dirección asistida .....</b>	<b>48</b>

### **3.2. Anexo II. Asistentes de la conducción**

<b>3.2.1. Vehículos no tripulados .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.2. Sistemas reguladores de velocidad.....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.2.1. Control de crucero.....</b>	<b>49</b>
<b>3.2.2.2. Control de crucero activo o control de crucero adaptativo (ACC) .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.3. Sistema de aparcamiento asistido (park assist).....</b>	<b>51</b>

<b>3.2.4. Asistente de mantenimiento de carril (lane assist) .....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.5. Asistente de corrección de la trayectoria LKS (Lane Keeping System) .....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.6. Asistente de ángulo muerto .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.7. Detector de fatiga .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.8. Reconocimiento de señales .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.9. Asistente anticolidión .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.10. Frenada de emergencia (BAS) .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2.11. Visión nocturna .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.12. Detección de peatones y ciclistas .....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.13. Faros con luz dinámica o faros direccionales.....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.14. Asistente de luz de carretera.....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.15. Pantalla Head-Up (HUD) .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.16. Sistema pre-colisión (PCS).....</b>	<b>60</b>
<b>3.2.17. Asistente de limitador de velocidad.....</b>	<b>60</b>
<b>3.2.18. Asistente para descenso en pendiente .....</b>	<b>61</b>
<b>3.2.19. Asistente para el arranque en pendiente (“Hill-Holder”).....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.20. Asistente de control electrónico de la estabilidad ESP.....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.21. Asistente de sentido contrario.....</b>	<b>63</b>
<b>3.2.22. Asistente de conducción en atascos (Traffic Jam Assist) .....</b>	<b>64</b>
<b>3.2.23. Piloto automático con asistencia de cambio de carril.....</b>	<b>64</b>

### **3.3. Anexo III. Sensores y actuadores**

<b>3.3.1. Sensores</b> .....	<b>68</b>
<b>3.3.1.1. Clasificación</b> .....	<b>68</b>
<b>3.3.1.1.1. Tipo de señal eléctrica de salida</b> .....	<b>68</b>
<b>3.3.1.1.2. Alimentación para su funcionamiento</b> .....	<b>69</b>
<b>3.3.1.1.3. Magnitud física a detectar</b> .....	<b>69</b>
<b>3.3.1.2. Características generales</b> .....	<b>69</b>
<b>3.3.1.2.1. Características estáticas</b> .....	<b>69</b>
<b>3.3.1.2.2. Características dinámicas</b> .....	<b>70</b>
<b>3.3.1.3. Tipos</b> .....	<b>71</b>
<b>3.3.1.3.1. Sensores de proximidad o presencia</b> .....	<b>71</b>
<b>3.3.1.3.2. Sensores de posición o distancia</b> .....	<b>73</b>
<b>3.3.1.3.3. Medidores de pequeños desplazamientos y deformaciones</b> .....	<b>75</b>
<b>3.3.1.3.4. Sensores de velocidad</b> .....	<b>76</b>
<b>3.3.1.3.5. Sensores de aceleración</b> .....	<b>76</b>
<b>3.3.1.3.6. Sensores de par y torsión</b> .....	<b>76</b>
<b>3.3.1.1.7. Sensores de carga</b> .....	<b>77</b>
<b>3.3.2. Actuadores</b> .....	<b>77</b>
<b>3.3.2.1. Actuadores eléctricos</b> .....	<b>77</b>

### **3.4. Anexo IV. Automatización**

<b>3.4.1. Ventajas e inconvenientes de una conducción autónoma</b> .....	<b>82</b>
<b>3.4.1.1. Ventajas</b> .....	<b>82</b>
<b>3.2.1.2. Inconvenientes</b> .....	<b>82</b>

<b>3.4.2. Coche elegido (puertas + asientos)</b> .....	<b>83</b>
<b>3.4.3. Automata programable</b> .....	<b>83</b>
<b>3.4.4. Dirección automatizada con posible intervención del ser humano en caso de emergencia</b> .....	<b>84</b>
3.4.4.1. Coche sin automatización.....	84
<b>3.4.5. Botón de emergencia</b> .....	<b>84</b>
<b>3.4.6. Asistentes de la dirección</b> .....	<b>85</b>
3.4.6.1. Sistema de asistencia a la conducción automatizada en autopista (AHDA) .....	85
3.4.6.2. Control de cruceo adaptativo-cooperativo.....	85
3.4.6.3. Control de la trayectoria del carril.....	88
3.4.6.4 Elementos necesarios .....	89
3.4.6.5.Detector de peatones y ciclistas.....	92
3.4.6.6. Asistente de prevención de obstáculos .....	95
3.4.6.7. Visión nocturna .....	96
3.4.6.8. Aparcamiento .....	96
3.4.6.9. Control electrónico de la estabilidad ESP .....	100
3.4.6.10. Conducción en un atasco.....	102
<b>3.4.7. Mapas de alta precisión</b> .....	<b>103</b>
<b>3.4.8. Elementos necesarios para la automatización</b> .....	<b>105</b>
3.4.8.1. Mapas de alta precisión.....	106
3.4.8.2. LIDAR .....	106
3.4.8.3. Sensor de ultrasonidos.....	106
3.4.8.4 Cámara estereoscópica .....	108
3.4.8.5.Cámara de infrarrojos.....	108

3.4.8.6. Cámara en el salpicadero.....	109
3.4.8.7. Cámara trasera.....	109
3.4.8.8. Cámara HD.....	110
<b>3.4.9. Motor de acople y desacople.....</b>	<b>111</b>

### **3.5. Anexo V. Cálculos**

<b>3.5.1. Introducción al sistema de transmisión de potencia piñón-cremallera.....</b>	<b>115</b>
<b>3.5.2. Datos del piñón y la cremallera .....</b>	<b>115</b>
3.5.2.1. Redondeo de decimales .....	117
3.5.2.2. Programas utilizados.....	117
3.5.2.3. Definiciones y abreviaturas.....	117
<b>3.5.3. Cálculo de los diferentes parámetros del piñón .....</b>	<b>120</b>
3.5.3.1. Pasos .....	120
3.5.3.2. Ángulo de presión.....	123
3.5.3.3. Dimensiones del engranaje .....	123
3.5.3.4. Relación de transmisión y velocidades.....	125
3.5.3.5. Desmultiplicación .....	126
3.5.3.6. Fuerzas .....	127
3.5.3.7. Esfuerzo flexionante .....	128
3.5.3.8. Fatiga .....	134
3.5.3.9. Resistencia a la picadura.....	135
3.5.3.10. Tabla resumen con los resultados obtenidos .....	138
<b>3.5.4. Resistencia a la marcha .....</b>	<b>138</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO 3. Anexo I. Dirección asistida

Figura 3.1.1. Situación de los elementos que componen la dirección hidráulica .....	41
Figura 3.1.2. Componentes de la dirección electromecánica .....	43
Figura 3.1.3. Despiece de los componentes de la dirección electromecánica .....	43
Figura 3.1.4. Elementos encargados de la parte electrónica de la dirección asistida .....	44

## CAPÍTULO 3. Anexo II. Asistentes de la conducción

Figura 3.2.1. Asistente ACC .....	50
Figura 3.2.2. Asistente de aparcamiento.....	51
Figura 3.2.3. Cámara trasera para facilitar el aparcamiento .....	51
Figura 3.2.4. Asistente de mantenimiento de carril .....	52
Figura 3.2.5. Asistente de ángulo muerto .....	53
Figura 3.2.6. Asistente detector de fatiga .....	54
Figura 3.2.7. Asistente de reconocimiento de señales.....	54
Figura 3.2.8. Asistente anticolidión.....	55
Figura 3.2.9. Asistente de frenada de emergencia .....	56
Figura 3.2.10. Asistente de visión nocturna .....	57
Figura 3.2.11. Asistente de visión nocturna (2) .....	57
Figura 3.2.12. Asistente de detección de peatones y ciclistas .....	58
Figura 3.2.13. Asistente de faros direccionales .....	58

<b>Figura 3.2.14. Asistente de luz de carretera.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 3.2.15. Pantalla Head-Up .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 3.2.16. Asistente de limitador de velocidad .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 3.2.17. Asistente para el descenso en pendiente .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 3.2.18. Asistente para el arranque en pendiente.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 3.2.19. Asistente de control electrónico de la estabilidad.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 3.2.20. Asistente se sentido contrario .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 3.2.21. Asistente de conducción en atascos .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 3.2.22. Asistente de cambio de carril .....</b>	<b>65</b>

### **CAPÍTULO 3. Anexo III. Sensores y actuadores**

<b>Figura 3.3.1. Funcionamiento de un sensor .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 3.3.2. Sensor inductivo.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 3.3.3. Sensor capacitivo .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 3.3.4. Sensor óptico .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 3.3.5. Sensor de ultrasonidos.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 3.3.6. Potenciómetro .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 3.3.7. Encoders .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 3.3.5. (2) Sensor de ultrasonidos .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 3.3.8. Funcionamiento de un interferómetro láser.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 3.3.9. Dinamo tacométrica .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 3.3.10. Corriente continua.....</b>	<b>77</b>

<b>Figura 3.3.11. Corriente alterna .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 3.3.12. Corriente trifásica equilibrada .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 3.3.13. Partes de un motor .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 3.3.14. Motor paso a paso .....</b>	<b>79</b>

## **CAPÍTULO 3. Anexo IV. Automatización**

<b>Figura 3.4.1. Toyota en pruebas.....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 3.4.2. Comunicación inalámbrica entre coches mediante comunicaciones ITS .....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 3.4.3. Comunicaciones ITS entre coches .....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 3.4.4. Comunicaciones ITS entre coches e infraestructuras.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 3.4.5. Cámara estéreo.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 3.4.6. LIDAR.....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 3.4.7. LIDAR de un coche en pruebas de Toyota .....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 3.4.8. Radar de un coche en pruebas de Toyota .....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 3.4.9. Cámaras HD .....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 3.4.10. Situación de los diferentes elementos .....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 3.4.11. Visión de las cámaras para monitorizar el tráfico .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 3.4.12. Combinación de los dos sensores .....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 3.4.13. Detección de peatones con la cámara frontal .....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 3.4.14. Radar frontal.....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 3.4.15. Desvío de la trayectoria .....</b>	<b>94</b>



Figura 3.4.16. Asistente de prevención de obstáculos .....	95
Figura 3.4.17. Asistente de visión nocturna .....	96
Figura 3.4.18. Sensores de ultrasonidos de la parte delantera buscando sitio para aparcar .....	98
Figura 3.4.19. Sensores de ultrasonidos para calcular la distancia entre coches .....	99
Figura 3.4.20. Posición de los distintos elementos .....	100
Figura 3.4.21. Actuación del ESP.....	101
Figura 3.4.22. Mapa para la conducción automatizada .....	103
Figura 3.4.23. Mapa para la conducción automatizada (2).....	103
Figura 3.4.24. Ruta trazada de un coche autónomo.....	104
Figura 3.4.25. Ejemplo de un mapa SIG .....	105
Figura 3.4.26. Diagrama de tiempo Srf04 .....	107
Figura 3.4.27. Conexión del motor de arranque .....	112
Figura 3.4.28. Curvas del motor M74R. Corriente VS. Velocidad, tensión, par motor y potencia .....	113

### **CAPÍTULO 3. Anexo V. Cálculos**

Figura 3.5.1. Dimensiones del engranaje recto.....	124
Figura 3.5.2. Dimensiones del engranaje helicoidal .....	125
Figura 3.5.3. Fuerza sobre los dientes de un engranaje helicoidal .....	127
Figura 3.5.4. Factor de proporción del piñón, $C_{pf}$ .....	130
Figura 3.5.5. Factor por alineamiento del engranado, $C_{ma}$ .....	130

<b>Figura 3.5.6. Factor de espesor de borde, <math>K_B</math>.....</b>	<b>131</b>
<b>Figura 3.5.7. Factor dinámico, <math>K_v</math> .....</b>	<b>133</b>
<b>Figura 3.5.8. Factor de geometría, <math>J</math> .....</b>	<b>134</b>
<b>Figura 3.5.9. Efecto de la fuerza centrífuga en las ruedas .....</b>	<b>140</b>

## **ÍNDICE DE TABLAS**

### **CAPÍTULO 3. Anexo I. Dirección asistida**

<b>Tabla 3.1.1. Ventajas VS. Inconvenientes entre los tipos de direcciones.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 3.1.2. Ventajas VS. Inconvenientes de tener dirección asistida .....</b>	<b>48</b>

### **CAPÍTULO 3. Anexo IV. Automatización**

<b>Tabla 3.4.1. Bandas de frecuencia y sus aplicaciones.....</b>	<b>87</b>
--	-----------

### **CAPÍTULO 3. Anexo V. Cálculos**

<b>Tabla 3.5.1. Tabla de módulos y pasos unificados para engranajes .....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 3.5.2. Factor de sobrecarga, <math>K_o</math> .....</b>	<b>128</b>
<b>Tabla 3.5.3. Factor de tamaño, <math>K_s</math>.....</b>	<b>129</b>
<b>Tabla 3.5.4. Número de calidad para el cálculo de <math>K_v</math> .....</b>	<b>132</b>
<b>Tabla 3.5.5. Factor de geometría para la resistencia a la picadura, <math>I</math>.....</b>	<b>136</b>
<b>Tabla 3.5.6. Coeficiente elástico, <math>C_p</math> .....</b>	<b>137</b>
<b>Tabla 3.5.7. Resumen de los resultados .....</b>	<b>138</b>
<b>Tabla 3.5.8. Valores de <math>C_x</math> .....</b>	<b>139</b>

<b>Tabla 3.5.9. Valores del coeficiente de adherencia en función del tipo de pavimento y estado de los neumáticos.....</b>	<b>140</b>
--	------------





## **CAPÍTULO 3. ANEXOS**

### **3.1. Anexo I. Dirección asistida**

#### **3.1.1. Introducción**

En esta parte del proyecto se hablará de forma teórica sobre la dirección asistida de un vehículo, los tipos que hay y sus características, también el papel que juega dentro del coche. Se explicará el tipo de dirección asistida elegida y se justificará esa decisión.

Así mismo, se nombrarán algunos asistentes de la dirección y su papel que juegan en el campo de la automatización de los vehículos.

Se empleará un anexo para hablar de la servodirección, por servir de gran ayuda en la dirección. Aun así, en un vehículo no tripulado no tiene sentido hablar de ella.

#### **3.1.2. Definición**

¿Qué es la dirección asistida?

Es un sistema mediante el cual se reduce la fuerza, el par de giro, que ha de efectuar el conductor sobre el volante de un coche para accionar la dirección.

Dicho de otro modo, que nos cueste menos girar el volante. Necesitamos un sistema capaz de variar la trayectoria de un automóvil. Un vehículo automóvil ha de estar dotado de uno que varíe la trayectoria a voluntad del conductor. En los coches este sistema es el de variar la inclinación longitudinal de las ruedas “directrices” para cambiar de trayectoria.

Permite reaccionar con más agilidad a bajas velocidades y además montar neumáticos con la banda de rodadura más ancha, conducir coches más grandes, pesados, potentes y seguros.

Fue el ingeniero Francis Davis quien inventó la dirección asistida, por la década del 1920.

Existen diferentes tipos de dirección asistida, los cuales se explicarán detalladamente en el punto 3.1.5.

No obstante, en un coche automatizado, no nos sirve esta ayuda de la conducción, ya que no necesitamos una persona humana que tripule el automóvil, sólo un ordenador y una serie de sensores y actuadores que se hablará en otro punto del proyecto.

### 3.1.3. Explicación matemática

Es sencillo. Cada vez que giramos las ruedas directrices de un coche, aparece en ellas una fuerza que tiende a alinearlas, es decir, llevarlas a su posición de reposo. Esta fuerza se debe a dos motivos, uno de ellos es la resistencia que tiene el neumático a ser deformado, y la otra es la posición adelantada del centro de presiones con respecto al centro de la rueda.

Podemos explicar este hecho de forma matemática:

$$F_{rueda} = F_{asistencia} + F_{conductor}$$

Cuanto mayor sea la fuerza de la asistencia, menor tendrá que ser la fuerza aplicada por el conductor, y más sencillo resultará girar el volante.

$$\text{Si } F_{asistencia} = 0; F_{rueda} = F_{conductor}$$

Principalmente, la fuerza de autoalineamiento dependerá de la velocidad, el vehículo y el tipo de dirección. También influyen factores como el estado de la carretera, el coeficiente de fricción vehículo-carretera, el tamaño de las ruedas...

A mayor velocidad, menor par para girar la rueda y viceversa. Es decir, que aparcando (una situación en la que no superamos los 10 Km/h), el par para girar la rueda será mayor, necesitaremos mayor asistencia. En el caso contrario, si circulamos en autopista a 120 Km/h, el par de la rueda será mucho menor, y la dirección apenas ayudará al conductor.

Esto es muy subjetivo, ya que existen personas que prefieren una conducción cómoda, con niveles de asistencia mayores, sin embargo, otras se sienten inseguras a altas velocidades. Aquí se introducirán el concepto de “asistencia variable”, que se regulará en función de la velocidad, y el valor de fricción, esfuerzo rueda-suelo.

### **3.1.4. Finalidad**

La dirección es la encargada de orientar las ruedas delanteras para que el coche siga la trayectoria prevista.

La misión de la dirección asistida o servodirección es únicamente colaborar con el conductor a producir el esfuerzo necesario. En caso de fallo en la asistencia, toda la fuerza para girar el volante la tendría que realizar el conductor, pero la dirección seguiría funcionando.

Actualmente, se utilizan muchos vehículos con los neumáticos ancho de baja presión y gran superficie de contacto, de ahí la gran necesidad de asistencia.

### **3.1.5. Tipos**

#### **3.1.5.1. Vacío**

Fueron las primeras que se utilizaron, junto con la hidráulica, pero hace mucho tiempo que dejaron de utilizarse.

El vacío lo puede crear la admisión o bien una bomba de vacío.

#### **3.1.5.2. Hidráulica**

Los primeros coches, junto con las de vacío, utilizaban este tipo de dirección.

Aunque siguen siendo las más habituales, están siendo sustituidas por las electrohidráulicas, principalmente para no depender del líquido hidráulico y por el ahorro de espacio. Utilizan energía hidráulica para general asistencia.

La bomba hidráulica es accionada por el cigüeñal del motor mediante una correa. Mediante el circuito de asistencia se hace llegar la presión del aceite hasta la válvula rotativa, integrada en el piñón de la cremallera. Cuando el conductor gira el volante, el sensor hidráulico permite el paso de fluido hacia un lado u hacia otro, aumentando la presión en ese lado del pistón y haciendo que la cremallera se desplace axialmente hacia el lado de giro. Cuando el volante deja de estar girado la presión se iguala, se distribuye el aceite hacia el depósito y la cremallera vuelve a su posición original.

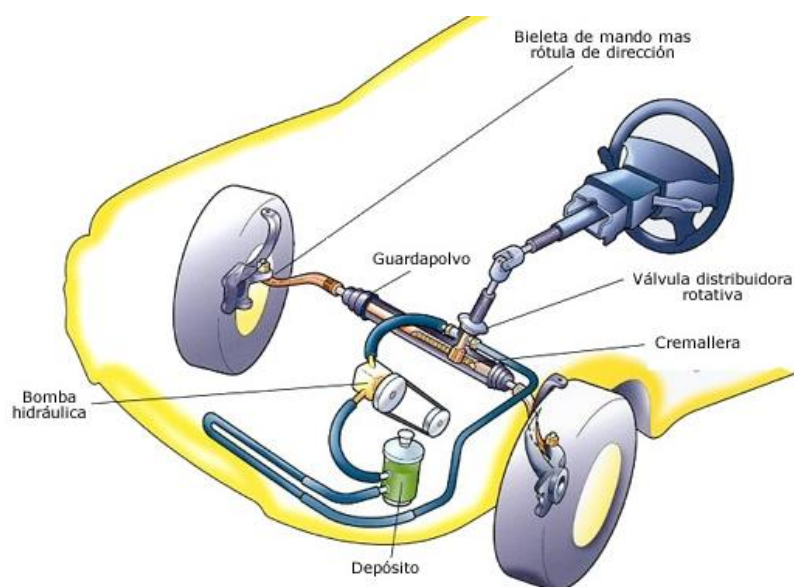


La bomba de aceite es la que proporciona presión al sistema, integrada a ella se encuentra la válvula de regulación de presión que limita la presión del circuito.

Hasta el 80% de asistencia se puede generar con este tipo de dirección.

Tenemos varios tipos:

- Servodirección hidráulica acoplada al varillaje
- Servodirección hidráulica integral
- Servodirección hidráulica coaxial
- Servodirección hidráulica de cremallera



**Figura 3.1.1. Situación de los elementos que componen la dirección hidráulica**

**Fuente:** [www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)

### 3.1.5.3. Electrohidráulica (EHPS)

Es una evolución de la dirección hidráulica. La bomba hidráulica ya no se conecta al motor del coche, sino que un motor eléctrico es el encargado de mover la bomba hidráulica. De este modo se evitan los problemas mecánicos con la correa.

Es una dirección a medio camino de la hidráulica y la eléctrica.

Su principal ventaja es que al no estar conectada al motor del vehículo evita los problemas mecánicos asociados a una transmisión por correa. Además reduce el consumo de combustible. En este caso la bomba hidráulica sólo funciona cuando y al ritmo que se necesita

para operar la dirección. La alimentación del motor que mueve la bomba se hace a través de la batería.

El funcionamiento de una dirección electro-hidráulica es similar al de una hidráulica.

#### **3.1.5.4. Eléctrica (EPS)**

Utilizan un motor eléctrico para generar la asistencia en la dirección.

En este tipo de dirección se suprime todo el circuito hidráulico formado por la bomba de alta presión, depósito, válvula distribuidora y canalizaciones que formaban parte de las servodirecciones hidráulicas. Todo esto se sustituye por un motor eléctrico que acciona una reductora (corona + tornillo sinfín) que a su vez mueve la cremallera de la dirección.

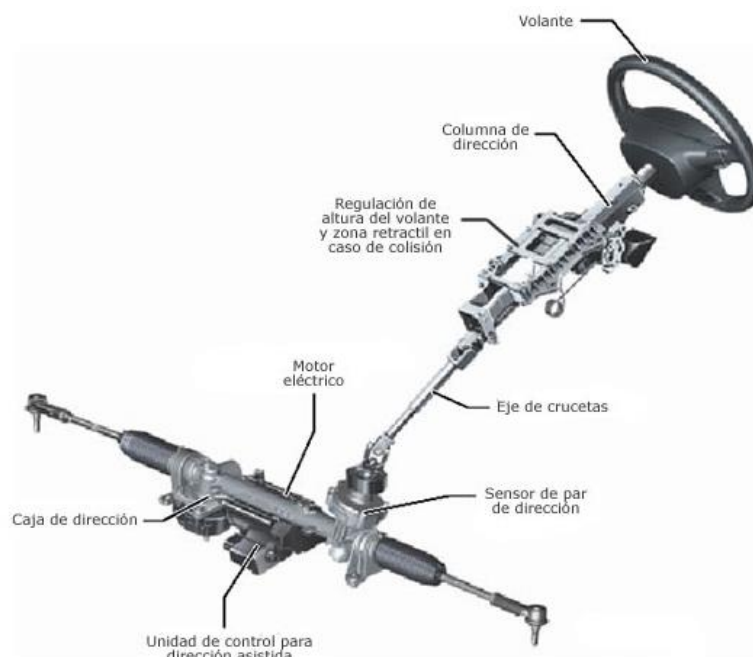
No utilizan ningún tipo de energía hidráulica, por lo tanto como se dijo anteriormente, son más ligeras y simples porque se elimina la instalación hidráulica.

#### **3.1.5.5. Electromecánica**

La dirección electromecánica se diferencia de la eléctrica, en que la primera es sensible a la velocidad, y sólo se activa cuando es necesario. Al igual que la eléctrica carece de componentes hidráulicos.

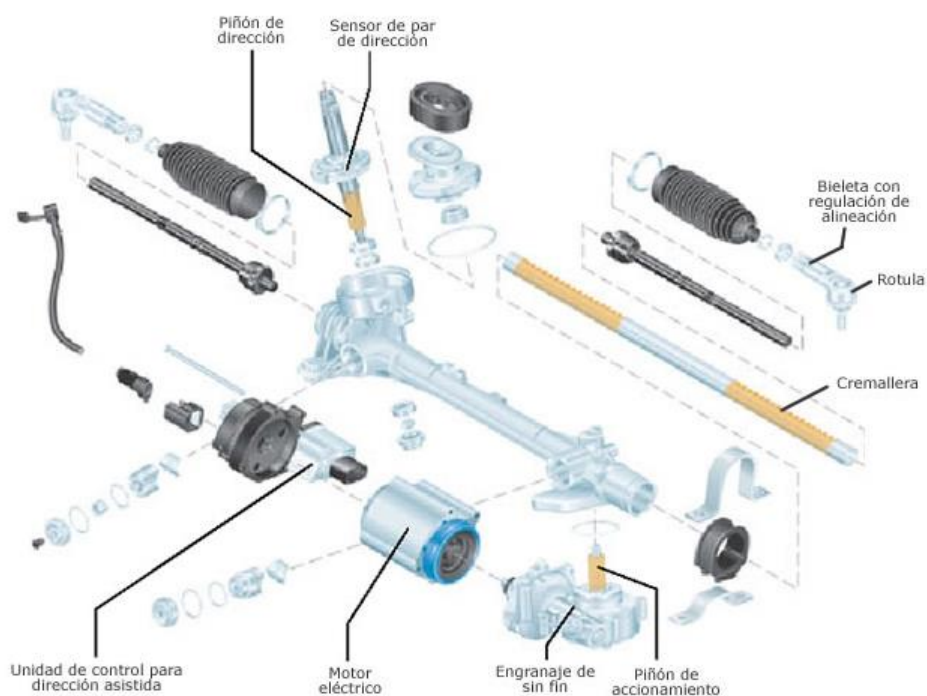
De la misma manera que con asistencia eléctrica el consumo de combustible es menor.

Será el tipo de dirección asistida que llevará el coche, sus ventajas se encuentran detalladas en el punto 3.1.6. justificando esta decisión.



**Figura 3.1.2. Componentes de la dirección electromecánica**

**Fuente:** [www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)

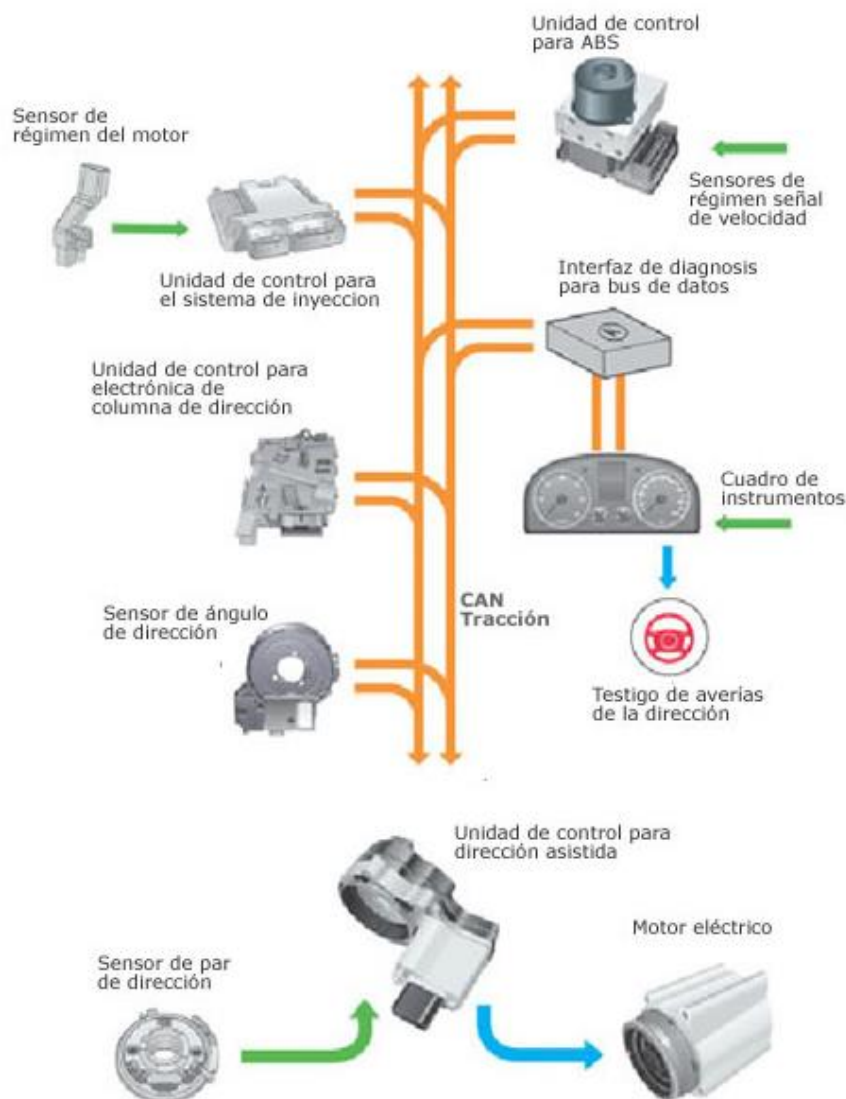


**Figura 3.1.3. Despiece de los componentes de la servodirección electromecánica**

**Fuente:** [www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)

El motor eléctrico va integrado en una carcasa de aluminio que a través del engranaje sin fin el piñón de accionamiento (figura 3.1.3.) ataca contra la cremallera y transmite así la fuerza de servoasistencia para la dirección. En el extremo del eje por el lado de control va instalado un imán, al cual recurre la unidad de control para detectar el régimen del rotor.

Por último, se adjuntará una imagen donde quedan reflejados toda la parte eléctrica de esta dirección asistida.



**Figura 3.1.4. Elementos encargados de la parte electrónica de la dirección asistida**

**Fuente:** [www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)

### 3.1.5.6. Otros tipos

Existen otros tipos de asistencia, muchos menos utilizados, como por ejemplo, la dirección asistida neumática de aire comprimido.

### 3.1.6. Ventajas e inconvenientes

#### 3.1.6.1 Tipos de dirección asistida

Tabla comparativa con las ventajas e inconvenientes de los tipos de dirección citados anteriormente:

Tipos de dirección	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No tiene ningún tipo de limitación. Apta para todo tipo de vehículos.</li> <li>-Este tipo de dirección está siendo sustituida por las eléctricas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se necesita un espacio mayor para todo el circuito hidráulico.</li> </ul>
Electrohidráulica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mismas ventajas que la dirección hidráulica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se sigue necesitando espacio para los componentes y el líquido hidráulico</li> </ul>
Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se suprime la bomba hidráulica y todos los componentes hidráulicos.</li> <li>-Menor espacio requerido (consecuencia de lo anterior).</li> <li>-Menor sonoridad.</li> <li>-Se eliminan tubos y cables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No es adecuada para todo tipo de vehículos. Normalmente sólo vehículos pequeños y medios. Depende del peso del vehículo y tamaño de los neumáticos.</li> </ul>

	<p>(correa, pistón, cremallera). Se reduce así la posibilidad de fallo mecánico.</p> <p>-Sensación óptima al volante. Conducción más cómoda.</p> <p>-Tipo de dirección más utilizada actualmente. Podemos encontrarla en gran variedad de coches.</p>	
<p>Electromecánica (dirección seleccionada)</p>	<p>- Mismas ventajas que la dirección eléctrica.</p> <p>-Es sensible a la velocidad.</p> <p>-Menor consumo de combustible. Sólo se activa cuando se mueve la dirección.</p> <p>-Mayor sensación de dirección alrededor del punto central del volante.</p> <p>-La llamada compensación de viento de costado ayuda al conductor a circular por la calzada con viento lateral o por una superficie inclinada.</p>	<p>-Mismos inconvenientes que la dirección eléctrica.</p>

	<p>-Es la dirección asistida necesaria para poder implementar en el coche algunos asistentes a la conducción como el asistente de aparcamiento o el asistente de conducción para atascos</p>	
--	--	--

**Tabla 3.1.1. Ventajas VS. Inconvenientes entre los tipos de direcciones**

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.1.6.2 Tener o no dirección asistida

Tabla comparativa con las ventajas e inconvenientes de tener dirección asistida:

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se reduce el esfuerzo a aplicar en el volante.</li> <li>-Mayor rapidez en el giro de las ruedas. Especialmente útil en vehículos pesados como camiones.</li> <li>-En caso de reventón en las ruedas directrices, se corrige automáticamente la dirección.</li> <li>-No presentan complicaciones en el montaje y tampoco afectan a la dirección.</li> <li>-En caso de fallo en la servodirección, la dirección no se ve afectada, ni ningún componente del vehículo.</li> <li>-Permiten realizar movimientos sensibles y maniobras delicadas.</li> <li>-Todo lo citado anteriormente hace que la conducción sea más segura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor costo en reparaciones.</li> <li>-Mayor costo al adquirirlo y la adaptación inicial es mayor que la de dirección simple.</li> <li>- En un coche automático, un sistema de dirección asistida no sirve.</li> </ul>

**Tabla 3.1.2. Ventajas VS. Inconvenientes de tener dirección asistida**

**Fuente:** Elaboración propia



## **CAPÍTULO 3. ANEXOS**

### **3.2. Anexo II. Asistentes de la conducción**

#### **3.2.1. Vehículos no tripulados**

Un vehículo no tripulado, es un medio de locomoción que permite el traslado de un lugar a otro de personas o cosas, sin que ninguna sujeto físico lo pilote. La automatización de la dirección de un coche es el objetivo este proyecto.

La finalidad es que un vehículo efectúe diferentes trayectorias programadas electrónicamente. Ello se conseguirá con una serie de sensores, actuadores y un ordenador o cualquier otro dispositivo electrónico que esté complementado con un software específico, que nos informe de su posición, trayectoria, velocidad y que no será estudio de este proyecto.

Hay que mencionar que hoy en día existen numerosos asistentes en la dirección, sin embargo, no confieren al automóvil una completa automatización. No sustituyen en ningún caso al conductor, suponen una ayuda complementaria.

Es un campo aún muy nuevo que se está estudiando. Se han trabajado prototipos (como el coche de google) y se han probado en circuito cerrados preparados para ello, incluso alguno ha hecho pruebas en la calle, pero todavía no se han llegado a comercializar ninguno que pueda ir completamente solo. Aun así, esto es solo cuestión de tiempo, ya que si en el año 2015 se venden coche que muevan el volante para aparcar, de aquí a uno años tendrán completa autonomía.

En esta parte del proyecto se explicarán los asistentes de la dirección, la antesala de los vehículos automáticos.

#### **3.2.2. Sistemas reguladores de velocidad**

##### **3.2.2.1. Control de crucero**

Sistema que permite establecer una velocidad determinada a la cual queremos que circule el vehículo sin necesidad de presionar el acelerador.

### 3.2.2.2. Control de cruceo activo o control de cruceo adaptativo (ACC)

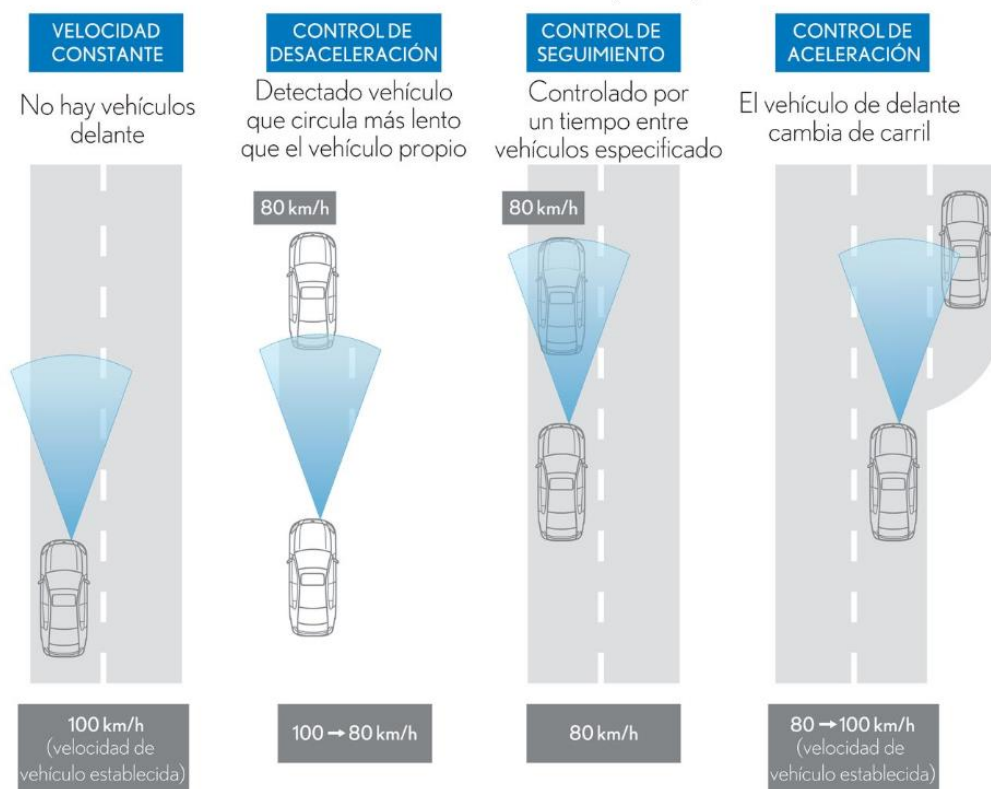
Funciona con radares de media y larga distancia y es un elemento complementario al limitador de velocidad.

Por un lado regula la velocidad de circulación, por ejemplo, para no sobrepasar los 50 km/h en ciudad. También mantiene la distancia de seguridad con el automóvil precedente, reduce la velocidad de nuestro coche, si fuera necesario para evitar una colisión.

Cuando volvemos a tener vía libre, recupera la velocidad programada. Hay dos tipos, uno que funciona de 30 a 200 km/h y otro para baja velocidad, pensado para atascos, capaz de detener el coche por completo y de reanudar la marcha.

Asistente bastante común lo incluyen diferentes modelos, como el Ford Focus por 1.500 € o el paquete del Toyota Avensis por 2.400 €.

#### CONTROL DE CRUCEO ADAPTABLE (ACC)



**Figura 3.2.1. Asistente ACC**

**Fuente:** [www.motor.es/noticias/honda](http://www.motor.es/noticias/honda)

### 3.2.3. Sistema de aparcamiento asistido (park assist)

Están basados en sensores de ultrasonidos capaces de detectar un espacio apto para aparcar en línea y en batería.

Este asistente nos ayuda a aparcar. Desde simplemente avisarnos cuando hay hueco, hasta coches inteligentes que mueven el volante (nosotros controlaríamos el juego de pedales), pasando por otros que mostrarían lo que hay a los alrededores para tener una vista global de la zona.

Hay modelos que garantizan un correcto aparcamiento en línea en un hueco solo 20 cm superior a la longitud del vehículo. Y cada vez es más común que realice la maniobra para reincorporarse a la circulación, que indique la aproximación de vehículos si salimos de un estacionamiento en batería marcha atrás o que complemente la información al conductor con cámaras de video traseras, delanteras e incluso laterales. Ya hay versiones con sensores en los flancos para evitar colisiones con columnas y bolardos.



**Figura 3.2.2. Asistente de aparcamiento**

**Fuente:** [www.mascoches.net/actualidad-seguridad-vial/](http://www.mascoches.net/actualidad-seguridad-vial/)



### Figura 3.2.3. Camara trasera para facilitar el aparcamiento

Fuente: [www.abc.es/motor-reportajes/](http://www.abc.es/motor-reportajes/)

#### 3.2.4. Asistente de mantenimiento de carril (lane assist)

Asistencia de mantenimiento de carril (LKA). Evita que nos salgamos de manera involuntaria de la carretera. LKA supervisa las líneas de la calzada a través de una cámara estéreo.

La alerta se activa cuando las ruedas pisan las líneas que delimitan el carril si no se ha conectado el intermitente, ya que interpreta que se trata de un cambio de carril no deseado.

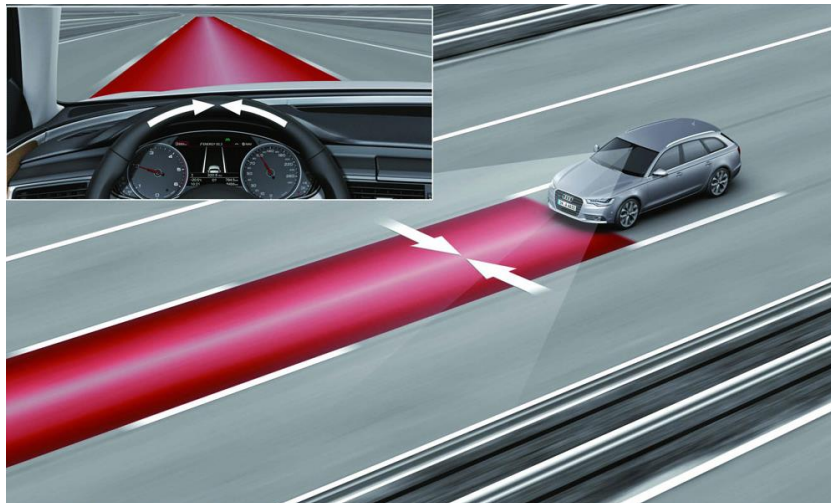


Figura 3.2.4. Asistente de mantenimiento de carril

Fuente: [www.mascoches.net/actualidad-seguridad-vial/](http://www.mascoches.net/actualidad-seguridad-vial/)

#### 3.2.5. Asistente de corrección de la trayectoria LKS (Lane Keeping System)

Es la evolución del asistente anterior. En vez de enviar señales al conductor para advertirle de que está bordeando los límites del carril, el volante se mueve automáticamente sin intervención humana para corregir la dirección.

Para evitar malos usos, algunos sistemas LKS avisan al conductor cuando no detectan sus manos colocadas en el volante.

### 3.2.6. Asistente de ángulo muerto

Funciona mediante radares en las esquinas posteriores del vehículo.

Emite una alerta visual en una esquina del retrovisor exterior izquierdo o derecho cuando se aproxima un coche por detrás, hasta una distancia de 100 metros. Si hemos activado el intermitente, el coche entiende que vamos a cambiar de carril y añade un aviso acústico para evitar una situación de peligro que deriva en una colisión.

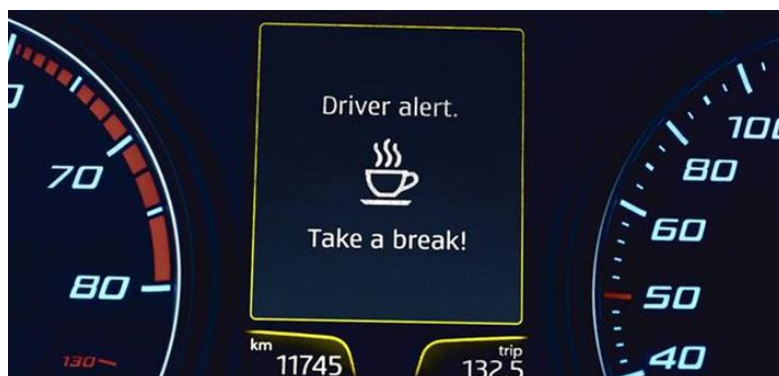


**Figura 3.2.5. Asistente de ángulo muerto**

**Fuente:** [www.hoy.es](http://www.hoy.es)

### 3.2.7. Detector de fatiga

Detecta periodos de inactividad en la dirección seguidos de movimientos bruscos, con los sensores de control de estabilidad. Evalúa la velocidad, la hora y el tiempo de conducción para estimar si es necesario avisar al conductor de su exceso de fatiga y recomendarle una parada para descansar.



**Figura 3.2.6. Asistente detector de fatiga**

**Fuente:** [www.motorafondo.net](http://www.motorafondo.net)

### 3.2.8. Reconocimiento de señales

Varios sensores sincronizados con la cámara delantera detectan los límites de seguridad, restricciones para adelantar y las obras antes de encontrarlas.

Detecta todas las señales que hay en la carretera para mantener la seguridad y reducir el estrés.



**Figura 3.2.7. Asistente de reconocimiento de señales**

**Fuente:** [www.seat.es](http://www.seat.es)

### 3.2.9. Asistente anticolidión

Evita colisiones por alcance por debajo de 30 km/h, las más comunes en circulación urbana y atascos.

Un sistema automático monitoriza constantemente la distancia entre el coche que va por delante del nuestro y la diferencia de velocidades entre ambos. En caso de que nos acerquemos demasiado deprisa, aproxima las pastillas de freno a los discos para reducir el tiempo de reacción en unas valiosísimas milésimas de segundo. Además emite diferentes avisos al conductor dependiendo del modelo, como acústicos o tirones en el cinturón. Si finalmente el conductor no reacciona, el vehículo tensa los cinturones de seguridad y frena para evitar el alcance o mitigar sus consecuencias.

Cuenta con este sistema el Peugeot 108.



**Figura 3.2.8. Asistente anticolidión**

**Fuente:** [www.actualidadmotor.com](http://www.actualidadmotor.com)

### 3.2.10. Frenada de emergencia (BAS)

En caso de realizar una detención brusca, multiplica la presión sobre el pedal de freno para evitar colisiones.

Suele mantener esa presión unos segundos más para evitar rebotes si somos alcanzados por detrás y conecta las luces de emergencia para avisar del peligro al resto de usuarios de la vía. Este sofisticado freno requiere de un láser con un alcance de seis metros que mide la distancia con el vehículo que nos precede cuando circulamos a menos de 30 km/h.

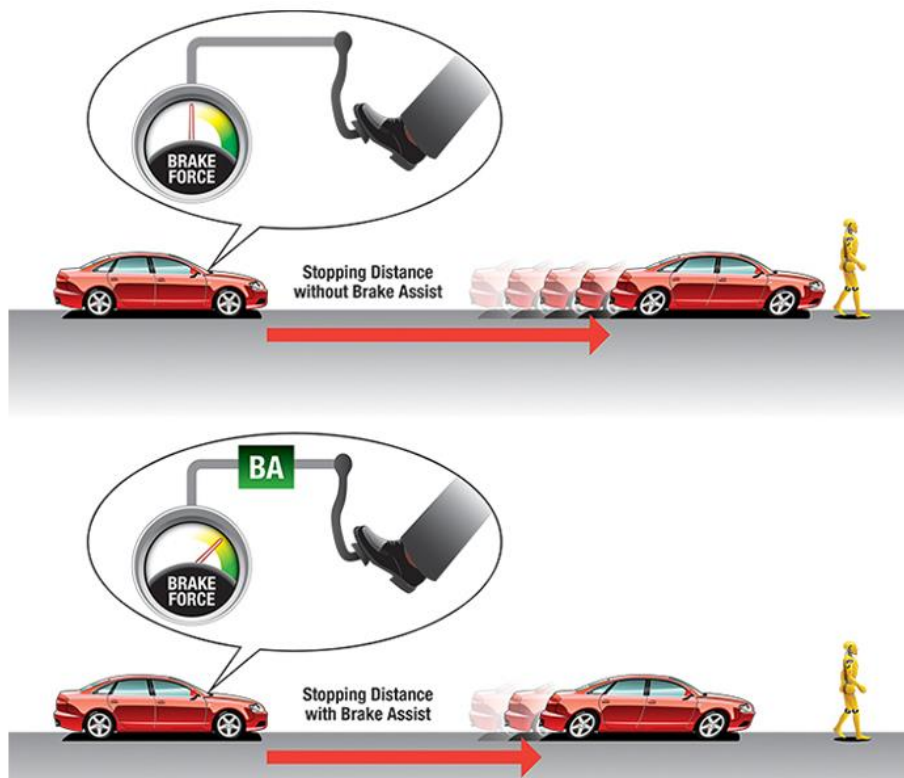
Supone una importante ayuda a la hora de evitar colisiones a baja velocidad.

Muchos accidentes se producen en ciudad y a velocidades no demasiado elevadas. Este asistente detiene por completo el coche en caso de riesgo de colisión, sin necesidad de que el conductor intervenga.

La mayoría de los atropellos en ciudad se producen en pasos de peatones o zonas donde el peatón tiene prioridad donde rara vez se superan los 30 km, así que puede llegar a salvar muchas vidas.

Entre otros, lo incorporan los modelos Ford, Volvo y Volkswagen. En este último funciona asociado a la regulación automática de la distancia.

Algunos modelos cuentan el detector de peatones y la frenada de emergencia combinados.



**Figura 3.2.9. Asistente de frenada de emergencia (BAS)**

**Fuente:** [www.frenomotor.com](http://www.frenomotor.com)



### 3.2.11. Visión nocturna

Mejora la profundidad de campo visual en conducción nocturna y, según los modelos, detecta obstáculos y los diferencia (peatones, ciclistas animales...).

Junto a una cámara especial, requiere una pantalla para mostrar al conductor las imágenes captadas, normalmente situada en el cuadro de instrumentos para no desviar la mirada de la carretera.

El Mercedes-Benz cuenta con este asistente.



**Figura 3.2.10. Asistente de visión nocturna**

**Fuente:** [www.techcenter.mercedes-benz.com](http://www.techcenter.mercedes-benz.com)



**Figura 3.2.11. Asistente de visión nocturna (2)**

**Fuente:** [www.techcenter.mercedes-benz.com](http://www.techcenter.mercedes-benz.com)

### 3.2.12. Detección de peatones y ciclistas

Similar al sistema de visión nocturna con reconocimiento de obstáculos, salvo que reconoce a los peatones y ciclistas del resto de objetos y funciona de día. Los marca en la pantalla, avisa de su presencia y frena el vehículo ante riesgo inminente de atropello.



**Figura 3.2.12. Asistente de detección de peatones y ciclistas**

**Fuente:** [www.eleconomista.es](http://www.eleconomista.es)

### 3.2.13. Faros con luz dinámica o faros direccionales

Ajusta el contraste del haz de luz del asfalto en función de las condiciones que rodean al vehículo (el tipo de vía, la climatología, etc.). Además los faros giran cuando gira la dirección, iluminan siempre el camino que quiere seguir el conductor.

La mayoría de los sistemas sólo dependen de la velocidad, pero otros más avanzados (Mercedes, Opel o el Grupo Volkswagen) disponen de cámaras adicionales en el espejo interior que son capaces de distinguir incluso si llueve o hay niebla.



**Figura 3.2.13. Asistente de faros direccionales**

**Fuente:** [www.volkswagen.com.ar](http://www.volkswagen.com.ar)

### 3.2.14. Asistente de luz de carretera

La luz de carretera se regula según el tráfico que nos viene de frente o en zonas bien iluminadas.

Cuando no detecta a nadie en nuestro camino, un dispositivo reactiva las "largas".

Funciona de la siguiente manera: una cámara situada en el retrovisor interior reconoce las luces del tráfico por delante y hace que el faro se apague o encienda.

Volkswagen cuenta con este asistente.



**Figura 3.2.14. Asistente de luz de carretera**

**Fuente:** [www.conduceseguro.com](http://www.conduceseguro.com)

### 3.2.15. Pantalla Head-Up (HUD)

Ofrece toda la información clave de la conducción como velocidad, indicaciones del GPS e incluso señales de tráfico, sobre el parabrisas o en una superficie transparente.

Esta tecnología se sirve de una lente ubicada tras los indicadores que proyecta las imágenes que percibe en nuestro campo de visión y que nos permite no tener que apartar la mirada de la carretera.

En la marca Toyota Prius viene equipado de serie y el Peugeot se puede adquirir por 350€.



**Figura 3.2.15. Pantalla Head-Up**

**Fuente:** [www.wordpress.com](http://www.wordpress.com)

### **3.2.16. Sistema pre-colisión (PCS)**

Reduce los daños y lesiones en situaciones de colisión preparando al vehículo y a los pasajeros para minimizar los daños. Unos sensores detectan una frenada brusca, la inestabilidad del vehículo o que no se reduce la velocidad frente a un obstáculo.

Dependiendo del modelo, el coche reduce la velocidad o, incluso, se detiene. Algunos avisan al conductor mediante una señal sonora y aviso en la pantalla y si no frena, se activa el asistente de frenada de emergencia. Los más completos tensan los cinturones, cierran las ventanas y colocan automáticamente los asientos en posición óptima.

Toyota lo equipa en el Avensis por 1.250€ y Mercedes lo incluye por sólo 382€.

### **3.2.17. Asistente de limitador de velocidad**

Este asistente limita la velocidad máxima del vehículo. El conductor puede establecer una velocidad máxima de entre 30 y 210 km/h (los rangos de velocidades varían entre modelos) y conducir sin miedo a sobrepasar el límite de velocidad.

A diferencia del control de crucero, que mantiene la velocidad establecida, el limitador de velocidad no permite superar la velocidad predefinida. Sólo impide conducir por encima de la velocidad establecida. Este asistente es especialmente útil en ciudad, autopistas o zonas con radares.

El Skoda Fabia lo incorpora.



**Figura 3.2.16. Asistente de limitador de velocidad**

**Fuente:** [www.automocionblog.com](http://www.automocionblog.com)

### **3.2.18. Asistente para descenso en pendiente**

Permite realizar descensos seguros y controlados en primera marcha, gracias a la capacidad de la gestión del motor de gobernar el régimen de revoluciones del motor y aplicar los frenos si fuera necesario.

Gracias a ello, se podrán realizar pendientes extremadamente empinadas con facilidad y seguridad. La velocidad del vehículo se mantiene muy baja sin que el conductor tenga que intervenir, aliviando enormemente la carga sobre el conductor en esta situación crítica.



**Figura 3.2.17. Asistente para el descenso en pendiente**

**Fuente:** [www.landrover-mexico.com](http://www.landrover-mexico.com)

**3.2.19. Asistente para el arranque en pendiente (“Hill-Holder”)**

Se sirve de un sensor especial capaz de detectar el ángulo de inclinación de la carrocería. Si se supera cierto ángulo, y siempre en fase de arranque (coche parado, primera marcha insertada, embrague y pedal de freno pisados), el sistema aplica presión al circuito de frenos (normalmente sólo en las ruedas delanteras) y evita que el vehículo se vaya hacia atrás durante unos instantes al levantar el pie del freno.

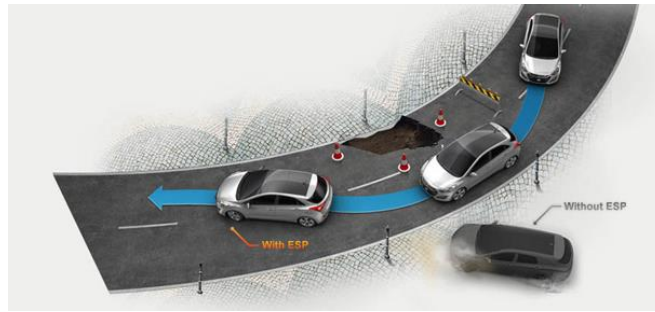
**Figura 3.2.18. Asistente para el arranque en pendiente**

**Fuente:** [www.auto10.com](http://www.auto10.com)

**3.2.20. Asistente de control electrónico de la estabilidad ESP**

Su función es conseguir que el vehículo se mantenga en la trayectoria marcada por el conductor con el volante, reduciendo en buena medida los siniestros viales derivados de un derrape.

El control de estabilidad compara la trayectoria marcada por el conductor con la trayectoria real del vehículo, analiza también la velocidad de giro de las ruedas e interviene actuando sobre ellas para redirigir el vehículo.



**Figura 3.2.19. Asistente de control electrónico de la estabilidad**

**Fuente:** [www.autoclase.com.ar](http://www.autoclase.com.ar)

### 3.2.21. Asistente de sentido contrario

Este sistema no es tan habitual, y hay que buscarlo en marcas premium. Aunque parezca extraño, cada año se dan muchos casos de conductores que, por despiste, o por no estar en condiciones para conducir, circulan en sentido contrario a la marcha, en autopistas y autopistas.

Utiliza el sistema de GPS del coche para identificar si el conductor está a punto de incorporarse a una carretera en sentido contrario, y avisarle de ello con una alarma sonora y visual (en la pantalla del navegador).

Además de la alarma para el propio conductor, manda un aviso a los coches que estén cerca (en un radio de 600 m) que estén provistos de un sistema de comunicación, y también manda un aviso a una central de tráfico.



### Figura 3.2.20. Asistente de sentido contrario

**Fuente:** [www.xataka.com/automovil](http://www.xataka.com/automovil)

#### 3.2.22. Asistente de conducción en atascos (Traffic Jam Assist)

Es un asistente muy nuevo de la conducción que lo introdujo Bosch y actualmente cuentan con el marcas como Audi o Volvo. La conducción en los atascos cuando circulemos a velocidades de entre 0 y 50 km/h estará totalmente automatizada.

Este asistente actuará sobre la dirección, el freno y el acelerador.

Gracias a las cámaras de vídeo, radar y sensores capaces de generar información suficiente para hacer consciente al vehículo sobre su entorno y poder circular en ciudad con tráfico denso o en cualquier carretera donde se ralentice el tráfico momentáneamente durante un tiempo.



**Figura 3.2.21. Asistente de conducción en atascos**

**Fuente:** [www.youtube.com](http://www.youtube.com)

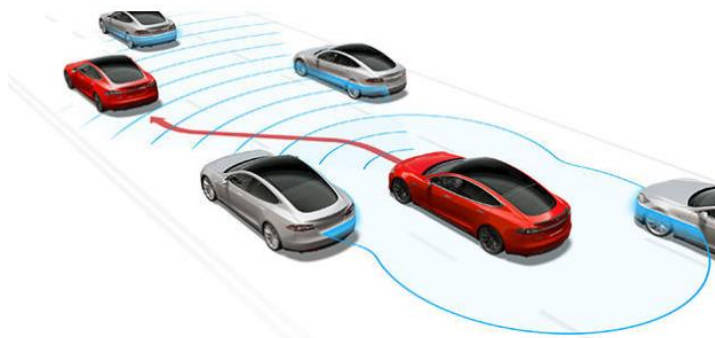
#### 3.2.23. Piloto automático con asistencia de cambio de carril

Tesla el pionero de este asistente, que dará lugar a un paso en la conducción autónoma, se encuentra en fase de desarrollo.



Con el podremos cambiar de carril de forma semiautomática, ya que el conductor será quien decida si se efectúa la maniobra accionando los intermitentes.

Con doce sensores y una cámara en el coche, nos dirán el momento idóneo para cambiar de carril.



**Figura 3.2.22. Asistente de cambio de carril**

**Fuente:** [www.xataka.com/vehiculos](http://www.xataka.com/vehiculos)

Los sensores y actuadores juegan un papel fundamental en el sistema de automatización y control de un automóvil con dirección automática.

En este anexo comentaremos y clasificaremos los tipos que hay y sus características. Aunque no todos ellos se vayan a utilizar nuestro sistema de dirección, si se usan con bastante frecuencia en el entorno industrial y es necesario comprender su funcionamiento.

Con dispositivo electrónico previamente programado y la ayuda de sensores y actuadores se debe implementar el sistema de dirección.

También es importante aclarar que no existe el sensor ideal, que sería aquel en el que la relación entre la magnitud de entrada y la magnitud de salida fuera proporcional y se obtuviera una respuesta instantánea e igual para todos los elementos del mismo tipo.

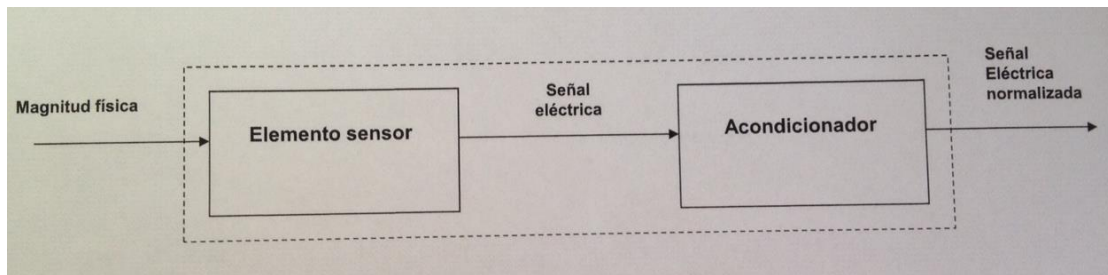


## CAPÍTULO 3. ANEXOS

### 3.3. Anexo III. Sensores y actuadores

#### 3.3.1. Sensores

Un sensor es un dispositivo capaz de convertir el valor de una magnitud física o química (temperatura, luz...) en una señal eléctrica codificada que puede ser manipulada.



**Figura 3.3.1. Funcionamiento de un sensor**

**Fuente:** Apuntes de automatización y control industrial. Tema 2. Sensores y actuadores

#### 3.3.1.1. Clasificación

Podemos clasificarlos de varias maneras, las cuales se expondrán a continuación.

##### 3.3.1.1.1. Tipo de señal eléctrica de salida

- Analógicos: La salida es un valor variable en forma continua dentro de un rango.
- Digitales: Señal de salida codificada en forma de pulsos o digital mediante un código binario.
- Todo-nada: Indican cuando la variable detectada rebasa un límite. Es un caso particular de los sensores digitales con dos estados.

### 3.3.1.1.2. Alimentación para su funcionamiento

- Pasivos: Necesitan alimentación externa para su correcto funcionamiento. Se basan en la variación de la impedancia eléctrica de un material bajo determinadas condiciones físicas o químicas.
- Activos: No necesitan alimentación externa ya que por sí solos son capaces de generar la señal eléctrica de salida.

### 3.3.1.1 3. Magnitud física a detectar

Depende de la magnitud física se utilizarán distintos tipos de sensores. Estas son algunas de las magnitudes más comunes que se necesita conocer de la trayectoria de un automóvil.

Posición lineal y posición angular, pequeños desplazamientos, velocidad lineal y velocidad angular, aceleración, fuerza y par.

También puede ser interesante la presión, el caudal o la temperatura de ciertas partes y líquidos.

### 3.3.1.2. Características generales

Como se mencionó anteriormente, el sensor ideal no existe, tiene un rango de validez y se puede ver afectada por perturbaciones exteriores y tiene un cierto retardo en la respuesta.

#### 3.3.1.2.1. Características estáticas

Describen el comportamiento del sensor en régimen permanente o con cambios muy lentos en la variable a medir.

- Rango de medida: Rango de valores que puede tomar la señal de entrada, comprendidos entre el máximo y el mínimo detectables por el sensor, con una tolerancia aceptable.
- Resolución: Mínima diferencia entre dos valores próximos que el sensor es capaz de distinguir.

- Exactitud: Define la variación máxima entre la salida real obtenida y la salida del valor ideal del sensor.
- Linealidad: Un sensor será lineal si existe una constante de proporcionalidad que relacione los incrementos de la señal de salida con los incrementos de la señal de entrada en todo el rango de medida. Es un comportamiento deseable aunque se den no linealidades como la saturación, zona muerta o ley cuadrática.
- Repetibilidad: Indica cual es la máxima variación entre los valores de salida obtenidos al medir varias veces la misma entrada con el mismo sensor y en idénticas condiciones.
- Sensibilidad: Cuanto mayor sea la variación de la señal de salida producida por una variación de la señal de entrada, el sensor será más sensible.
- Ruido: Cualquier perturbación del sistema de medida afecta en menor o mayor grado a la magnitud que se desea medir.

#### 3.3.1.2.2. Características dinámicas

Al contrario que las características estáticas, éstas describen la actuación del sensor en régimen transitorio, en base a su respuesta mediante una serie de señales de entrada estándar.

- Velocidad de respuesta: Mide la capacidad del sensor para que la señal de salida siga sin retraso las variaciones de la señal de entrada.
- Respuesta en frecuencia: Mide la capacidad del sensor para medir las variaciones de la señal de entrada a medida que aumenta la frecuencia.
- Estabilidad: Indica la desviación en la salida del sensor con respecto al valor teórico, al variar parámetros exteriores.

### 3.3.1.3. Tipos

Estos serán los sensores utilizados para controlar su trayectoria (posición, velocidad, aceleración...)

#### 3.3.1.3.1. Sensores de proximidad o presencia

Son todo-nada, definidos en el punto 3.3.1.1.1. y devuelven una señal binaria que indica la presencia o no de un objeto ante el detector. Son baratos aunque presentan algunos inconvenientes como desgaste mecánico. Los hay de varios tipos:

- Inductivos: Detectan la proximidad de piezas metálicas (1mm-30mm de distancia). Se componen de un circuito oscilador LC; la presencia del metal altera el circuito magnético y hace variar la amplitud de oscilación.

Su principal ventaja es que no necesitan estar en contacto con el objeto a detectar.



**Figura 3.3.2. Sensor inductivo**

**Fuente:** [www.zensotec.com](http://www.zensotec.com)

- Capacitivos: Este tipo de sensor eléctrico reacciona cuando el material se aproxima a la superficie activa sobrepasando una determinada capacitancia  $C$ . La distancia de conexión respecto a un determinado material es tanto mayor cuanto más elevada sea su constante dieléctrica.

Cuando el objeto se acerca cambia el dieléctrico y por lo tanto, varían las oscilaciones del circuito.

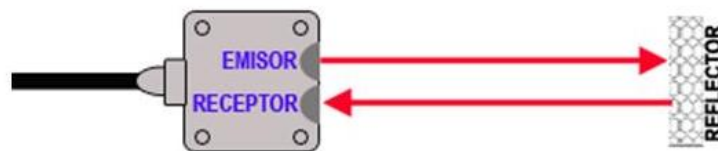
Pueden detectar metales y no metales.



**Figura 3.3.3. Sensor capacitivo**

**Fuente:** [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)

- Ópticos: Incorporan un emisor y un receptor de luz, la variación de ésta activa la salida y pueden conmutar por luz u oscuridad; admite grandes distancias de detección, hasta 500 m. Hay variaciones dentro de los sensores ópticos, o bien el objeto se detecta cuando el haz de luz se refleja en él, o por el contrario, la interrupción del haz de luz provoca la detección del objeto (sistema de barrera).



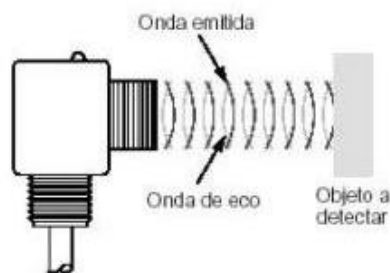
**Figura 3.3.4. Sensor óptico**

**Fuente:** [www.measurecontrol.com](http://www.measurecontrol.com)

- Ultrasonidos: Se basan en la emisión y recepción de ondas de ultrasonidos; cuando el objeto interrumpe el haz de ondas, varía el nivel de recepción y el objeto es detectado.

Una de sus principales ventajas es que se puede utilizar para detectar objetos transparentes como cristal o plástico, sin embargo, hay que tener cuidado en lugares donde circule aire con violencia o exista contaminación acústica.





**Figura 3.3.5. Sensor de ultrasonidos**

**Fuente:** [www.sensoresdeproximidad.galeon.com](http://www.sensoresdeproximidad.galeon.com)

### 3.3.1.3.2. Sensores de posición o distancia

Son sensores analógicos o digitales que miden una posición o distancia. Los más utilizados son los potenciómetros y encoders.

- Potenciómetros: Son sensores analógicos. Un potenciómetro es una resistencia variable. De esta manera, indirectamente, se puede controlar la intensidad de corriente que fluye por un circuito si se conecta en paralelo, o la diferencia de potencial al conectarlo en serie. Suele emplearse para circuitos de baja intensidad.



**Figura 3.3.6. Potenciómetro**

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

- Encoders: Es un sensor digital que posee una pieza que gira con bandas opacas y translúcidas alternadas y al girar la pieza se generan pulsos. Los detectores ópticos indican la presencia de una u otra banda.

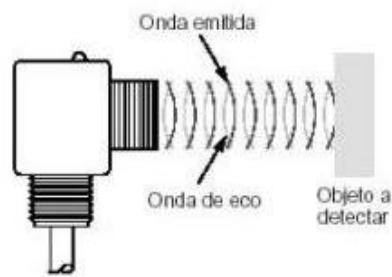
Para cada posición angular se detecta una única señal binaria siguiendo el código binario Gray.



**Figura 3.3.7. Encoders**

**Fuente:** [www.zonaindustrial.cl](http://www.zonaindustrial.cl)

- Ultrasonidos: El procedimiento es el mismo que se comentó, sin embargo su funcionamiento se basa en el tiempo de vuelo para calcular la distancia existente entre emisor y receptor.

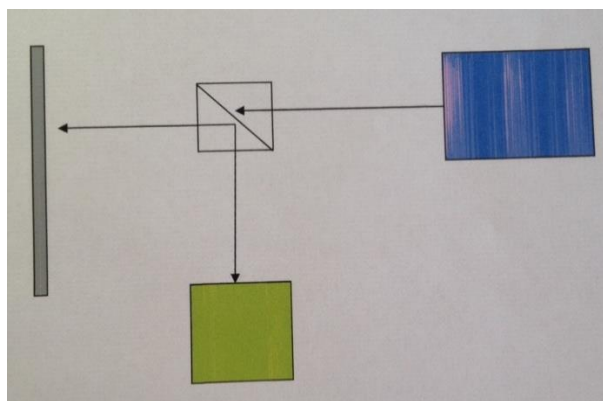


**Figura 3.3.5. (2) Sensor de ultrasonidos**

**Fuente:** [www.sensoresdeproximidad.galeon.com](http://www.sensoresdeproximidad.galeon.com)

- Láser range finder: Funciona de manera parecida a un sonar pero con mayor rapidez y precisión.

- Cámara TOF: Utiliza radiación infrarroja, es capaz de capturar la información de profundidad en la escena completa y adquiere datos a alta velocidad, el inconveniente es que si hay otro tipo de radiación en el ambiente podría interferir con el sensor.
- Interferómetro láser: El funcionamiento es el siguiente, se genera un haz de luz que se divide en dos partes ortogonales gracias a un separador. Un haz se aplica en un espejo plano situado justo delante, el otro en el objeto cuya distancia se quiera calcular. El desplazamiento se determina contando las oscilaciones que aparecen y que antes no estaban.



**Figura 3.3.8. Funcionamiento de un interferómetro láser**

**Fuente:** Apuntes de automatización y control industrial. Tema 2. Sensores y actuadores

#### 3.3.1.3.3. Medidores de pequeños desplazamientos y deformaciones

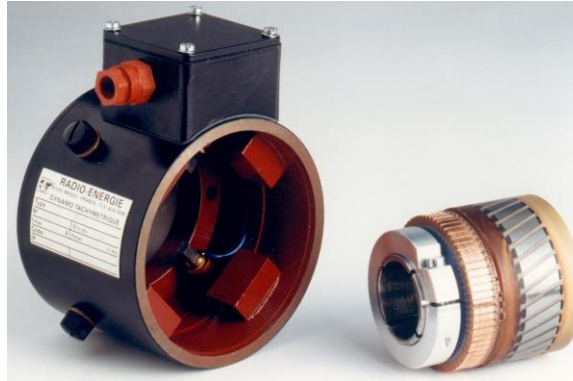
Están pensados para realizar medidas de desplazamiento lineal o posición lineal, de una forma automatizada. La medida se realiza en magnitudes de distancia como el metro.

Existen diferentes tipos de sensores como las galgas extensiométricas o los transductores piezoeléctricos, en los que poder elegir diferentes rangos de medida, combinados con diferentes tipos de salida en diferentes tecnologías.

#### 3.3.1.3.4. Sensores de velocidad

Se utilizan mucho en toda clase de sistemas industriales.

- Dinamo tacométrica: Es un generador de corriente continua cuya tensión generada al girar el rotor es proporcional a la velocidad angular de giro.



**Figura 3.3.9. Dinamo tacométrica**

**Fuente:** [www.ermec.com](http://www.ermec.com)

- Generador de impulsos: Es un sensor digital utilizado para medir velocidad; genera un tren de impulsos con una frecuencia proporcional a la velocidad que se está midiendo.

#### 3.3.1.3.5. Sensores de aceleración

Están pensados para realizar una medida de aceleración, proporcionando una señal eléctrica según su variación física. Existen los acelerómetros piezoresistivos, piezoeléctricos y capacitivos.

#### 3.3.1.3.6. Sensores de par y torsión

Los sensores de par miden la fuerza de torsión a la que se somete un eje durante las diferentes fases de su funcionamiento, bien sea en arranque, dinámico o parada. Se suele ensayar y estudiar en elementos de potencia como motores. Un transductor de par proporciona una variación mecánica en una eléctrica, en este caso una torsión se traduce en una variación de voltaje.

Están formados por un eje instrumentado, que ha de ser intercalado entre fuente y carga, para que el sensor de par, sea sometido a la torsión que deseamos medir.

Los tipos de sensor de par son diferentes, pero por tecnología se dividen en estáticos o dinámicos.

### 3.3.1.3.7. Sensores de carga

Las células de cargas son sensores de fuerza que se emplean para comprobar o medir la cantidad de presión por unidad de superficie que se ejerce en un control o ensayo. Estos sensores de fuerza transforman la magnitud mecánica en magnitud eléctrica, fuerza ejercida en voltaje.

## 3.3.2. Actuadores

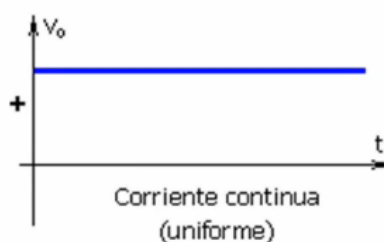
Es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática, eléctrica o térmica (según el tipo que utilice el actuador) en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control.

Vamos a comentar algunos tipos de actuadores eléctricos que son los que se centran en el automatismo de un coche.

### 3.3.2.1. Actuadores eléctricos

- Motores de corriente continua (CC): Convierten la energía eléctrica en energía mecánica, provocando un movimiento rotatorio, gracias a la acción del campo magnético. Consta de dos partes principales, el estator la parte fija de la máquina, y el rotor la parte giratoria.

La corriente continua mantiene siempre la misma polaridad y el voltaje se mantiene constante a lo largo del tiempo. Es la utilizada por los electrodomésticos del hogar.

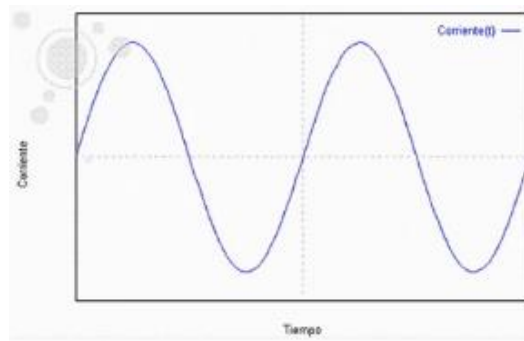


### Figura 3.3.10. Corriente continua

Fuente: [www.politube.upv.es](http://www.politube.upv.es)

- Motores de corriente alterna (CA): Son los motores eléctricos que funcionan con corriente eléctrica. Se dividen en dos grandes grupos según el tipo de corriente que utilicen.

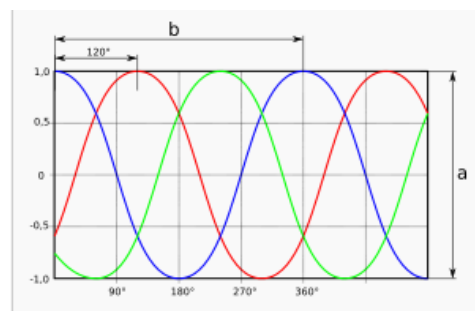
Al contrario que la corriente continua la corriente alterna cambia su polaridad a lo largo del tiempo tal y como se aprecia en la imagen 3.3.10.



### Figura 3.3.11. Corriente alterna

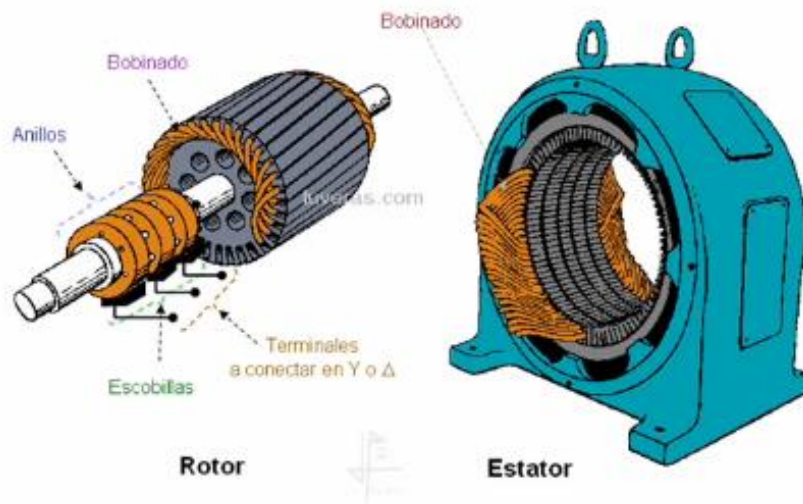
Fuente: [www.politube.upv.es](http://www.politube.upv.es)

Los motores utilizan la corriente trifásica, un sistema formado por tres corrientes monofásicas de igual frecuencia y amplitud con diferencia de fase de  $120^\circ$ .



### Figura 3.3.12. Corriente trifásica equilibrada

Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)



**Figura 3.3.13. Partes de un motor**

Fuente: [www.politube.upv.es](http://www.politube.upv.es)

- Motores paso a paso: Serán una buena opción para los automatismos que requieren mecanismos precisos, convierten una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, es decir, se pueden mover un paso a la vez por cada pulso aplicado.



**Figura 3.3.14. Motor paso a paso**

Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

En este anexo explicaremos cómo se ha hecho posible la automatización del coche en diferentes partes de la conducción, centrándonos en la dirección, el objeto del proyecto. En las soluciones finales de la memoria, se detallará en conjunto cómo se mueve (focalizándonos en este aspecto) el coche automático gracias al conjunto de los elementos instalados.

Al igual que ocurre con la elección de los elementos físicos que forman la dirección (capítulo 4. Estudio de la dirección, punto 4.4), el resultado no es único, para explicar la automatización de la dirección nos hemos apoyado en la puesta en marcha de las marcas de automóviles. También se justificarán todas las decisiones tomadas.





## CAPÍTULO 3.ANEXOS

### 3.4. Anexo IV. Automatización

#### 3.4.1. Ventajas e inconvenientes de una conducción autónoma

Existen numerosas ventajas para pensar que una conducción no tripulada va a suponer un gran avance en este campo, por el contrario, también nos encontramos con algunos contras.

##### 3.4.1.1. Ventajas

- Accesibilidad para personas que no puedan conducir (por no tener carnet, incapacidad física, enfermedad).
- Reducción de la mayor parte de accidentes.
- Se conseguiría evitar los accidentes debidos al factor humano como un despiste, fatiga, falta de reflejos o la conducción bajo los efectos del alcohol.
- Ahorro de combustible.
- Reducción el espacio necesario para aparcar, ya que no sería necesario que los ocupantes salieran una vez aparcado el coche, lo harían antes para que no fuera necesario abrir la puerta.
- Más carriles en un mismo espacio, o bien, menor espacio para la conducción, ya que la distancia entre los carriles sería menor.
- Reducción de las multas ya que los vehículos autónomos estarían programados para no realizar ninguna imprudencia, ni falta.

##### 3.4.1.2. Inconvenientes

-Sistema bloqueado por diversos motivos: líneas de los carriles poco definidas, señales que se contradicen, espacio insuficiente para circular... Por ello es conveniente que el ser humano pueda tomar el control en un momento dado para evitar un accidente.

-Hackeo del automóvil. Al igual que resulta posible la automatización, también se podría piratear el sistema. En 2013 dos hackers lograron controlar a distancia un coche inteligente valiéndose sólo de conexión a Internet, una dirección IP y un software propio.

- No admite margen de error en la calle. Para lanzar estos coches al mercado, hay que estar al 100% seguro de que los prototipos que se han probado funcionan.

- Posibilidad de fallo. Al igual que un móvil o una tele puede romperse o simplemente fallar en un momento dado, podría pasar lo mismo con un coche automático programado. La responsabilidad de cualquier siniestro siempre recaerá en el conductor que es el único responsable del coche, por ello aunque la conducción sea 100% automatizada ha de estar atento en todo el tiempo que dure el trayecto.

- Por ahora, no se puede programar tareas que requieran intuición, inteligencia, reflejos...

### **3.4.2. Coche elegido (puertas+asientos)**

No importa el modelo de coche elegido para implementarle la dirección automática. Por ejemplo, el coche Google consta sólo de dos asientos, además de tener una especie de forma ovalada; sin embargo, el prototipo más común suele ser de 5 puertas, contando con el maletero y 5 asientos incluyendo el del conductor.

### **3.4.3. Autómata programable**

Como se hablará en el capítulo 4, el coche necesita de autómata programable (con las instrucciones que seguir), para automatizar la dirección y sus movimientos. Este dispositivo puede ser cualquier aparato electrónico programado que entienda el lenguaje de programación y que vaya conectado al coche.

La elección del lenguaje y su programación quedan fuera del estudio de este proyecto, sin embargo, la elección del hardware será una Tablet provista del programa necesario. Esta decisión se debe al fácil manejo de este aparato, su poco peso, fácil transporte y una pantalla lo suficientemente grande; además las Tablet cada vez están ganando terreno a los notebook, que prácticamente se están extinguiendo.

### **3.4.4. Dirección automatizada con posible intervención del ser humano en caso de emergencia**

Este coche inteligente estará totalmente automatizado, no obstante, si fuera necesario tomar el control, existirá un pulsador que activa o desactiva un relé, para cambiar de modo automático a manual, al igual que ocurrió con un BMW en pruebas en un circuito cerrado. Si se presiona uno de los pedales o se sujeta el volante también se desacoplaría el motor.

#### **3.4.4.1. Coche sin automatización**

En este trabajo automatizaremos la dirección de un vehículo para que sea no tripulado, sin embargo, al igual que los asistentes de la conducción se pueden desactivar en cualquier momento, también se podrá desactivar el modo automático al coche donde este implementado.

Por ello, se incluirá una cámara integrada en el salpicadero, que vigile y rastree el movimiento ocular y otros comportamientos del ser humano cuando se utilicen ciertos asistentes como el control de crucero, el mantenimiento de carril o el asistente de conducción automatizada en atascos. De esta forma se podrá saber si el conductor ha perdido la total atención de la carretera, se ha cambiado de asiento o se ha puesto a realizar otra actividad.

Una persona puede tardar varios segundos en tomar el control y toda la atención de nuevo en la carretera, por ello se incluye esta cámara para evitar sustos innecesarios. La cámara sólo se activará cuando funcione el modo automático.

### **3.4.5. Botón con parada de emergencia**

Si así se considera oportuno por cualquier circunstancia, se activará el botón de emergencia (debe encontrarse en el código, una opción de parada de emergencia) entonces, el automóvil actuará sobre los frenos y la dirección y estacionará el coche en el primer sitio que encuentre libre que no exista riesgo.

### 3.4.6. Asistentes de la dirección

#### 3.4.6.1. Sistema de asistencia a la conducción automatizada en autopista (AHDA)

Toyota desde finales de 2013 ha estado trabajando en un sistema de asistencia a la conducción automatizada en autopista, como podemos observar en la figura 3.4.1. y es lo que implementaremos para que el coche pueda circular por los dos tramos de autopista. Este asistente se compone de dos subsistemas que son el control de crucero adaptativo-cooperativo y el control de trayectoria del carril. Ambos han sido explicados en el anexo II, sin embargo, en este anexo, además del fundamento teórico, se explicará su implantación en el sistema de dirección.



**Figura 3.4.1. Toyota en pruebas**

**Fuente:** [www.motorpasion.com](http://www.motorpasion.com)

#### 3.4.6.2. Control de crucero adaptativo-cooperativo

Con este asistente regularemos la velocidad de circulación, y mantendremos una distancia de seguridad con los vehículos vecinos. Si el coche de delante se acerca demasiado, el asistente actúa sobre el freno para reducir la velocidad, y una vez que se vuelva a alejar, retomaremos la velocidad de crucero impuesta anteriormente.

Se puede comunicar de forma inalámbrica, con los vehículos que le rodean (ver figura 3.4.2. ), utilizando las comunicaciones ITS entre automóviles para transmitir a tiempo real datos de navegación como aceleración y desaceleración y saber en qué posición se encuentran para actuar al respecto. Al igual que en el control de crucero, controla de forma automática el factor de movimiento de un vehículo de motor; se configura la velocidad y el sistema controlará la válvula de aceleración del vehículo para mantener la velocidad de forma continua (cuando no se necesite hacer uso del freno y acelerador).

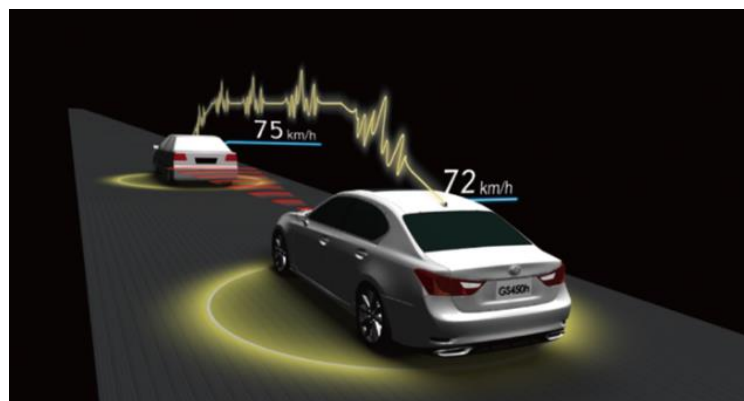


**Figura 3.4.2. Comunicación inalámbrica entre coches mediante comunicaciones ITS**

**Fuente:** [www.motorpasion.com](http://www.motorpasion.com)

Los sistemas ITS (Intelligent Transportation Systems), o sistema de transporte inteligente, constituyen un conjunto de soluciones telemáticas (telecomunicaciones e informática), que se utilizan sobre todo en el campo terrestre. Se utilizará la banda de 700 MHz para obtener la información, de aceleración y desaceleración. Un ámbito muy presente de aplicación es en el cobro electrónico de peajes, para evitar colas innecesarias cuando existe una persona facturando manualmente.

Este sistema de comunicaciones permitirá el intercambio de información entre coches (velocidad que lleven, si frenan, si aceleran...) e infraestructuras.



**Figura 3.4.3. Comunicaciones ITS entre coches**

**Fuente:** [www.diariomotor.com/tecmovia](http://www.diariomotor.com/tecmovia)



**Figura 3.4.4. Comunicaciones ITS entre coches e infraestructuras**

**Fuente:** [www.diariomotor.com/tecmovia](http://www.diariomotor.com/tecmovia)

Las bandas de frecuencia son intervalos de frecuencias del espectro electromagnético asignados a diferentes usos dentro de las radiocomunicaciones.

Banda	Abreviatura	ITU	Frecuencia y longitud de onda (aire)	Ejemplos de uso
Frecuencia tremendamente baja	TLF		< 3 Hz > 100,000 km	Frecuencia en la que trabaja la actividad neuronal
Frecuencia extremadamente baja	ELF	1	3–30 Hz 100,000 km – 10,000 km	Actividad neuronal, <b>Comunicación con submarinos</b>
Super baja frecuencia	SLF	2	30–300 Hz 10,000 km – 1000 km	Comunicación con submarinos
Ultra baja frecuencia	ULF	3	300–3000 Hz 1000 km – 100 km	Comunicación con submarinos, <b>Comunicaciones en minas a través de la tierra</b>
Muy baja frecuencia	VLF	4	3–30 kHz 100 km – 10 km	<b>Radioayuda, señales de tiempo</b> , comunicación submarina, <b>pulsómetros inalámbricos</b> , <b>Geofísica</b>
Baja frecuencia	LF	5	30–300 kHz 10 km – 1 km	Radioayuda, señales de tiempo, radiodifusión en <b>AM (onda larga)</b> (Europa y partes de Asia), <b>RFID</b> , Radioafición
Frecuencia media	MF	6	300–3000 kHz 1 km – 100 m	Radiodifusión en <b>AM (onda media)</b> , Radioafición, <b>Balizamiento de Aludes</b>
Alta frecuencia	HF	7	3–30 MHz 100 m – 10 m	Radiodifusión en <b>Onda corta</b> , <b>Banda ciudadana</b> y radioafición, Comunicaciones de aviación sobre el horizonte, <b>RFID</b> , <b>Radar</b> , Comunicaciones <b>ALE</b> , <b>Comunicación cuasi-vertical (NVIS)</b> , <b>Telefonía móvil</b> y marina
Muy alta frecuencia	VHF	8	30–300 MHz 10 m – 1 m	<b>FM</b> , <b>Televisión</b> , Comunicaciones con aviones a la vista entre tierra-avión y avión-avión, <b>Telefonía móvil</b> marítima y terrestre, Radioaficionados, <b>Radio meteorológica</b>
Ultra alta frecuencia	UHF	9	300–3000 MHz 1 m – 100 mm	Televisión, Hornos <b>microondas</b> , Comunicaciones por microondas, <b>Radioastronomía</b> , <b>Telefonía móvil</b> , <b>Redes inalámbricas</b> , <b>Bluetooth</b> , <b>ZigBee</b> , <b>GPS</b> , Comunicaciones uno a uno como <b>FRS</b> y <b>GMRS</b> , Radioafición
Super alta frecuencia	SHF	10	3–30 GHz 100 mm – 10 mm	Radioastronomía, Comunicaciones por microondas, <b>Redes inalámbricas</b> , radares modernos, <b>Comunicaciones por satélite</b> , <b>Televisión por satélite</b> , <b>DBS</b> , Radioafición
Frecuencia extremadamente alta	EHF	11	30–300 GHz 10 mm – 1 mm	Radioastronomía, <b>Transmisión por microondas</b> de alta frecuencia, <b>Teledetección</b> , Radioafición, <b>armas de microondas</b> , <b>Escaner de ondas milimétricas</b>
Terahercios or Frecuencia tremendamente alta	THz or THF	12	300–3,000 GHz 1 mm – 100 nm	Radiografía de terahercios – un posible sustituto para los rayos X en algunas aplicaciones médicas, <b>Dinámica molecular ultrarrápida</b> , <b>Física de la materia condensada</b> , <b>Espectroscopia mediante terahercios</b> , Comunicaciones/computación mediante terahercios, <b>Teledetección submilimétrica</b> , Radioafición

**Tabla 3.4.1. Bandas de frecuencia y sus aplicaciones**

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

De este modo 700 MHz correspondería a la ultra alta frecuencia, 300-3000 MHz, con longitud de onda entre 1 y 100 mm, y con campo de aplicación en los GPS, telefonía móvil, radares o redes inalámbricas.

#### **3.4.6.3. Control de la trayectoria del carril**

Evita que el coche se salga de los límites de la carretera; con este asistente, el automóvil no tripulado, permanecerá lo más centrado posible en el carril.

Se incorpora tecnología de conducción automatizada. El asistente de mantenimiento del carril avisa al conductor de una forma determinada (sonido, vibración del volante o un tirón en el cinturón) de que se acercaba a los límites del carril involuntariamente, y el asistente de corrección de la trayectoria actúa sobre la columna de la dirección para girar las ruedas de manera que el vehículo permanezca en el trazado, sin embrago, si el conductor retira las manos del volante, se avisa al conductor.

El control de trayectoria en carril, que incorpora tecnologías de conducción automatizada completamente nuevas, emplea cámaras de alto rendimiento, un radar de ondas milimétricas y un software de control para posibilitar una trayectoria de conducción óptima y suave a cualquier velocidad.

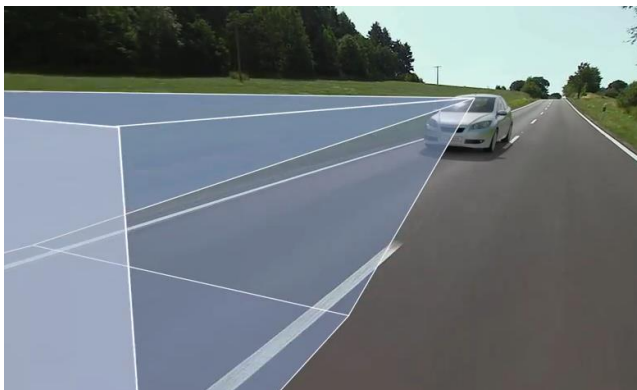
El software tratará de posibilitar la trayectoria de conducción óptima y suave a cualquier velocidad, ajustando el ángulo de giro, el par motor y la fuerza de frenado.

Unos sensores que pueden ser tipo cámara, láser en el frontal o en el parabrisas, o en los bajos del vehículo, siguen el trazado de las marcas viales longitudinales (ya sean continuas o discontinuas).

En nuestro modelo se utilizará la cámara estereoscópica, la cual es capaz de capturar imágenes en tres dimensiones intentando simular el comportamiento del ojo humano. Utilizan dos cámaras u objetivos que capturan imágenes a la vez para crear una imagen real en 3D.

La cámara, situada en la parte frontal, detecta las líneas divisorias delante del vehículo, puede detectar hasta cuatro líneas, incluso con poca visibilidad aunque éstas desaparezcan momentáneamente.





**Figura 3.4.5. Cámara estéreo**

**Fuente:** [www.youtube.com](http://www.youtube.com)

El sistema ajusta el ángulo de dirección del vehículo, el par de transmisión y la fuerza de frenado cuando pueda ser necesario a fin de mantener una trayectoria óptima dentro del carril.

#### **3.4.6.4. Elementos necesarios**

La combinación de estos dos asistentes supone la necesidad de utilizar un rayo láser LIDAR, situado en el techo, capaz de girar 360 grados, para detectar todo tipo de objetos alrededor del coche.



**Figura 3.4.6. LIDAR**

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

LIDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. Es lo mismo que un radar, pero en vez de usar microondas usa luz infrarroja. La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada.

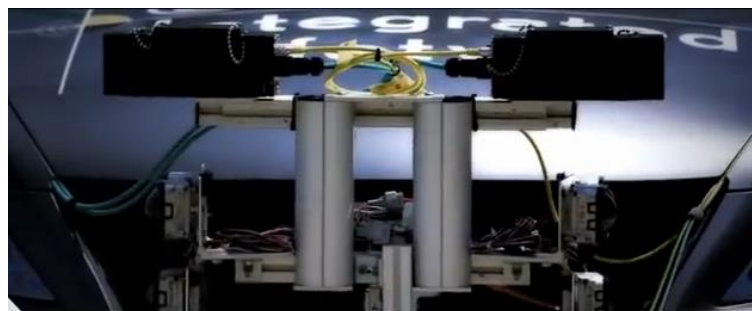
Emite un pulso láser, que choca con el objeto a detectar, de esta forma se puede construir un mapa tridimensional sobre la situación del entorno. Para realizar este escaneado se combinan dos movimientos, uno longitudinal dado por la trayectoria del coche y otro transversal mediante un espejo móvil que desvía el haz de luz láser emitido por el escáner.



**Figura 3.4.7. LIDAR de un coche en pruebas de Toyota**

**Fuente:** [www.motorpasion.com/espaciotoyota](http://www.motorpasion.com/espaciotoyota)

Los radares de ondas milimétricas (radar de largo alcance, radar de medio alcance frontal y radar de medio alcance trasero) para analizar todo el entorno.



**Figura 3.4.8. Radar de un coche en pruebas de Toyota**

**Fuente:** [www.motorpasion.com/espaciotoyota](http://www.motorpasion.com/espaciotoyota)

Además también necesitaremos cámaras HD para detectar objetos, señales de tráfico y otros vehículos aproximándose para monitorizar las situaciones de tráfico. En los siguientes puntos también se hablará de la importancia de éstas en algunos asistentes como el detector de peatones y el de obstáculos, pero para poder observarlo todos es importante que contemos con cámaras de visión delantera y trasera, para tenerlo todo bajo control.



**Figura 3.4.9. Cámaras HD**

**Fuente:** [www.motorpasion.com/espaciotoyota](http://www.motorpasion.com/espaciotoyota)



**Figura 3.4.10. Situación de los diferentes elementos**

**Fuente:** [www.motorpasion.com/espaciotoyota](http://www.motorpasion.com/espaciotoyota)



**Figura 3.4.11. Visión de las cámaras para monitorizar el tráfico**

**Fuente:** [www.motorpasion.com/espaciotoyota](http://www.motorpasion.com/espaciotoyota)

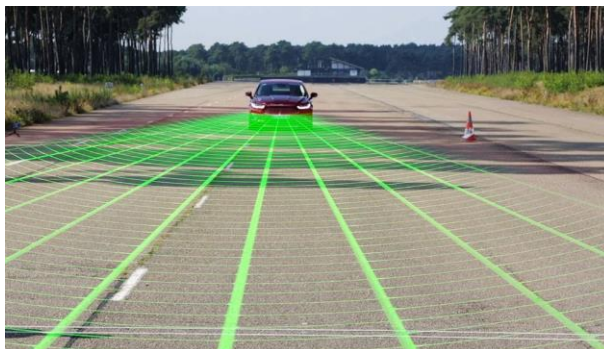
También son imprescindibles mapas con gran exactitud y actualizados continuamente porque los vehículos intercambian entre sí informaciones sobre el entorno, obras o el estado de la calzada, mediante las comunicaciones ITS mencionadas anteriormente.

#### **3.4.6.5. Detector de peatones y ciclistas**

Este sistema funciona de la siguiente manera. Si detecta un peatón y existe riesgo inminente de atropello, se emite una señal sonora advirtiendo de su presencia al conductor para que frene, más tarde activa los frenos si el conductor no responde a los avisos. Reduce el tiempo requerido para el frenado acortando el espacio entre las pastillas y los discos de freno y si no hay respuesta los frenos se activan de forma autónoma deteniendo el vehículo.

En primer lugar el coche debe de ser capaz de detectar al peatón. Los reconoce, del resto de objetos, a una distancia de 200 metros por el uso combinado de dos sensores: un radar y una cámara de vídeo. La imagen que percibe con ambos sensores la cruza con una base de datos que ayuda a detectar las formas de los peatones (formas humanas, por ello puede reconocer también a los ciclistas). Funciona con velocidades de hasta 80 km/h.

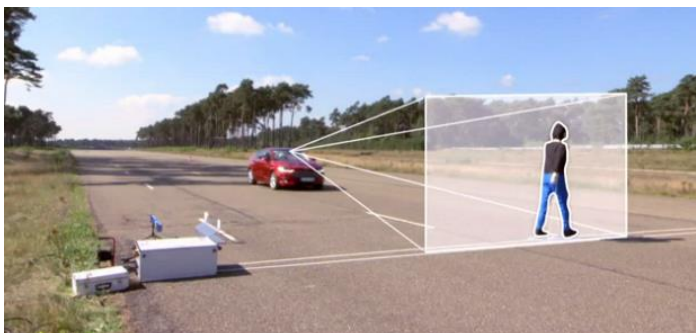
La señal de los sensores se combina y monitoriza el espacio frente al vehículo. Se utilizan para saber cuánto aumenta el riesgo de accidente y tiene en cuenta parámetros como la velocidad, aceleración y el ángulo de giro.



**Figura 3.4.12. Combinación de los dos sensores**

**Fuente:** [www.diariomotor.com/tecmovia](http://www.diariomotor.com/tecmovia)

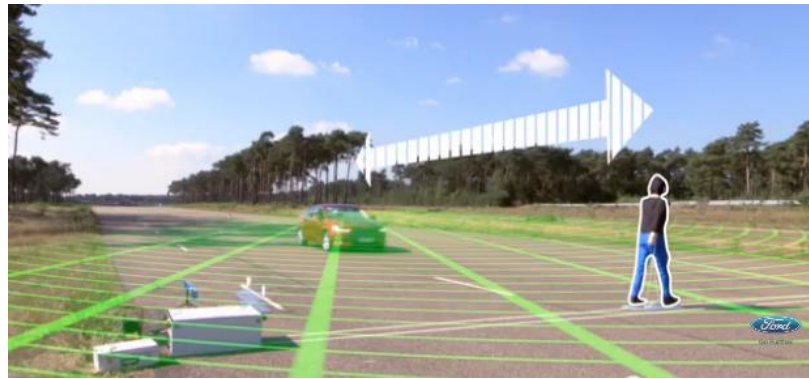
Las cámaras frontales instaladas en el parabrisas, se utilizan para identificar al peatón en la trayectoria del vehículo.



**Figura 3.4.13. Detección de peatones con la cámara frontal**

**Fuente:** [www.antena3.com/noticias/tecnologia](http://www.antena3.com/noticias/tecnologia)

Y por último, la señal de radar sirve para medir la distancia entre el peatón y el coche, utilizando el tiempo de vuelo de la onda para calcular este parámetro. Es un radar frontal situado en el parachoques, como puede apreciarse en la figura 3.4.13.

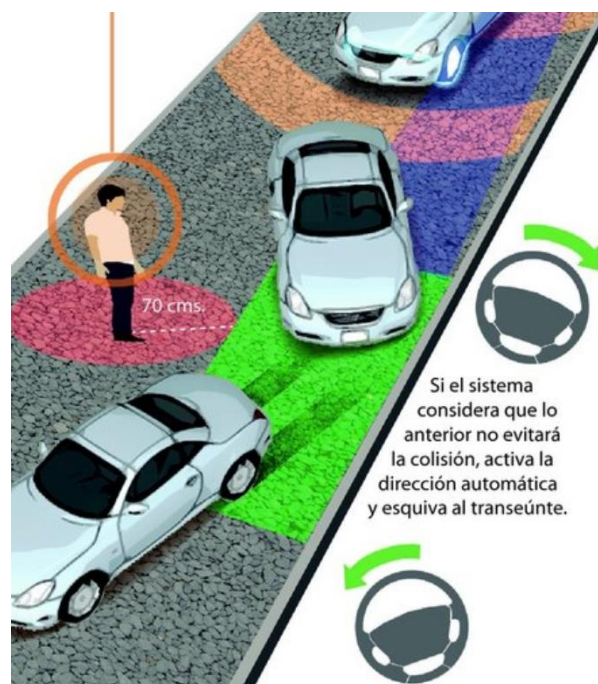


**Figura 3.4.14. Radar frontal**

**Fuente:** [www.engadget.com](http://www.engadget.com)

En muchas ocasiones cuando frenar a fondo no llega a ser suficiente para evitar el atropello, este asistente también puede actuar sobre la dirección redirigiendo al coche. Así si el sistema considera que no se evitará la colisión, activa la dirección automática y esquiva al humano.

Un ordenador predice mediante un algoritmo dónde es más probable que del siguiente paso. Los sensores mencionados anteriormente se encargan de buscar espacios para evadir el choque.



**Figura 3.4.15. Desvío de la trayectoria**

**Fuente:** [www.lun.com](http://www.lun.com)

#### 3.4.6.6. Prevención de obstáculos

Es similar al asistente de detector de peatones, pero para cualquier objeto que se encuentre en el camino, tanto en ciudad como en autopista. Reduce la velocidad y busca la dirección más segura para evitar la colisión; así cuando el automóvil se encuentre con algo en su ruta podrá esquivarlo como se ve en la siguiente figura.



**Figura 3.4.16. Asistente de prevención de obstáculos**

**Fuente:** [www.coches.net/noticias/coches-sin-conductor](http://www.coches.net/noticias/coches-sin-conductor)

Dos cámaras de alta resolución (colocadas en la parte alta del parabrisas), reconocen no solo a figuras humanas, sino también a objetos, y a otros coches. Con ellas se obtiene una visión estereográfica al microprocesador del sistema. Este asistente lo tiene la marca Ford.

Como nos interesa que el coche detecte todo tipo de obstáculos, combinaremos las dos cámaras de alta resolución situadas en el parabrisas para detectarlos y el radar del parachoques para poder medir la distancia que existe entre el coche y el ente.

Una vez se detecten se procederá como se ha explicado anteriormente.

El prototipo S 500 Intelligent Drive de Mercedes-Benz es su primer modelo en incorporar una conducción totalmente autónoma. Es capaz de diferenciar todo tipo de

obstáculos, líneas, cambios de rasante, personas, animales... puede interpretar lo que le rodea y saber cómo reaccionar para llegar a su destino.

#### 3.4.6.7. Visión nocturna

El coche también llevará incorporado este asistente para identificar cualquier cuerpo por la noche para poder frenar o esquivarlo. Mejora la profundidad de campo visual en conducción nocturna, detecta obstáculos y los diferencia (peatones, ciclistas animales...).

La ayuda de una cámara de infrarrojos situada en el parabrisas, identificará cuerpos “calientes” como personas y animales y objetos “fríos” como una piedra, con un área de alcance mayor de 150 m.

No se deslumbra a los conductores que circulan en sentido contrario, ya que la luz de infrarrojos es invisible al ojo humano.

La gran ventaja de utilizar una cámara de infrarrojos, en vez de una cámara térmica es que se pueden detectar objetos que no emiten calor.



**Figura 3.4.17. Asistente de visión nocturna**

**Fuente:** [www.whatsnew.com](http://www.whatsnew.com)

#### 3.4.6.8. Aparcamiento

Actualmente, el aparcamiento automático forma parte de un asistente de conducción que ya han implementado bastantes marcas de diferentes modelos de coches. En la mayoría de ellos, los giros de volante se realizan de forma autónoma y el conductor es el encargado de manejar los pedales de aceleración, freno y embrague a conveniencia.



En un principio, incorporaban sensores de distancia en los paragolpes y emitían un pitido creciente cuando el coche se acercaba al obstáculo en cuestión.

Para un futuro, se espera que el aparcamiento se realice sin necesidad de intervención. Muchas marcas ya están trabajando en ello. Sin ir más lejos, este mismo año saldrá al mercado el nuevo BMW serie 7 con aparcamiento automático por control remoto; será el primer coche que se podrá aparcar a distancia usando el propio mando de la llave (BMW Display Key).

Audi también está trabajando con modelos para el futuro. Gracias a la tecnología de comunicación inalámbrica entre los sistemas del coche y el aparcamiento, y los sensores que incorpora el vehículo. El aparcamiento pilotado a través del guiado inalámbrico WLAN, con la ayuda de sensores y cámaras que supervisarán el entorno, escáneres láser, sensores de ultrasonidos, lograrán que el coche se mueva solo hasta su posición de aparcamiento y vuelva de nuevo cuando así se lo indicamos. Todo se maneja a través de una aplicación para nuestro Smartphone o incluso de la propia llave del coche, que se encarga de enviar la orden al coche para que se vaya a su posición de aparcamiento o que vuelva cuando lo necesitamos. El coche se mueve sin golpear gracias a los múltiples sensores que tiene. El problema es que el aparcamiento también tiene que estar robotizado, estos sistemas más evolucionados requieren de aparcamientos con cierta infraestructura, porque se utiliza también la comunicación inalámbrica entre el coche y el aparcamiento, en lo que se conoce como Car-to-Infraestructure (C2X). La comunicación inalámbrica entre coches sería Car-to-Car (C2C).

Una vez ha alcanzado la posición final, apaga el motor, desactiva el encendido y bloquea las puertas como haríamos nosotros mismos. Por último, envía un mensaje de confirmación al conductor, para que se quede tranquilo.

Este será una forma de aparcamiento automático a un nivel mucho más avanzado que los anteriores, que como se comentó antes, únicamente actúan sobre el volante.

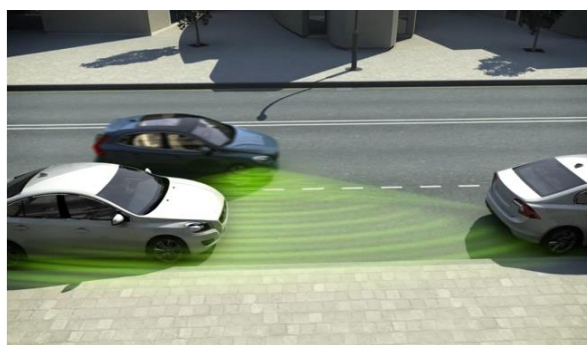
El aparcamiento se podrá efectuar en cualquier escenario, no sólo marcha atrás o perpendicular al aparcamiento (batería, en línea o entre columnas). Elegiremos el aparcamiento mediante los sensores de ultrasonidos que se explicará a continuación. La automatización de la aceleración y frenado en la maniobra no forma parte del campo de estudio del proyecto.

El coche busca con los sensores de ultrasonidos huecos para aparcar. Si vamos a aparcar en paralelo el espacio a detectar, tendrá que ser igual al espacio del coche más 80 cm (referencia tomada del aparcamiento del Volkswagen Sharan), es decir, 40 cm a cada lado; si por el contrario se aparca en batería, el hueco tendrá que ser igual al ancho del vehículo, más la distancia de seguridad (menor a la del aparcamiento en paralelo), de 20 cm a cada lado.

El sistema mide, con la ayuda de sensores de ultrasonido, los huecos de aparcar con precisión y, a continuación, realiza las maniobras para aparcar el coche en el espacio, sin que el conductor tenga que realizar ninguna maniobra con el volante. El sistema también detecta cualquier obstáculo en el hueco o en el bordillo, y funciona por la noche e incluso cuando no existe acera.

Para poder implementar este sistema al coche, necesitamos una dirección asistida electromecánica (como es nuestro caso), y que cuente con el sistema de frenos con control de estabilidad ESP, que también se incluirá.

La parte delantera del vehículo cuenta con dos sensores de ultrasonido, uno en cada extremo, para barrer los espacios ante posibles huecos vacíos, el rango para ser detectado varía en función de cada modelo y su tamaño, pero supondremos un valor de 4 m ya que es el más común.

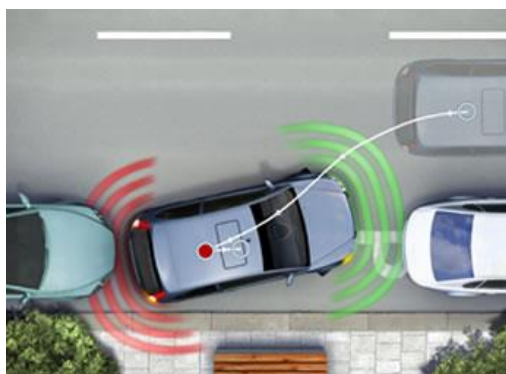


**Figura 3.4.18. Sensores de ultrasonidos de la parte delantera buscando sitio para aparcar**

**Fuente:** [www.brinf.com](http://www.brinf.com)

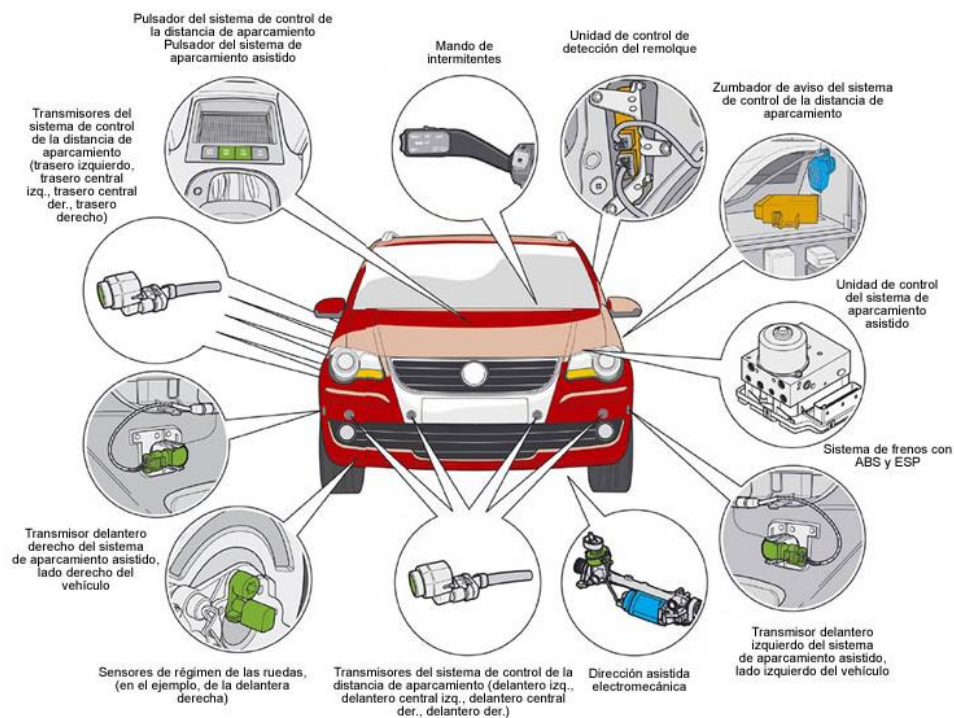
También se incluirán cuatro sensores de ultrasonidos situados en la parte frontal y otros cuatro en la posterior, para medir la distancia entre nuestro coche y los vecinos. El número de sensores y su distribución varían dependiendo de los modelos, tanto los transversales como los longitudinales.

Los sensores, utilizan para medir la distancia entre coches o cualquier objeto, el tiempo de vuelo para calcular la distancia entre el emisor (parte delantera o trasera de nuestro coche) y el receptor (el objeto a detectar), se emite una onda que se refleja en el objeto a detectar y vuelve la onda eco al emisor, de esta manera, se puede calcular la distancia.



**Figura 3.4.19. Sensores de ultrasonidos para calcular la distancia entre coches**

**Fuente:** [www.aficionadosalamecanica.com](http://www.aficionadosalamecanica.com)



**Figura 3.4.20. Posición de los distintos elementos**

**Fuente:** [www.aficionadosalamecanica.com](http://www.aficionadosalamecanica.com)

Como podemos apreciar en la figura 3.4.20. los transmisores del sistema de control de la distancia de aparcamiento (delantero izquierda, delantero central izquierda, delantero central derecha y delantero derecha) son los sensores de ultrasonidos situados en la parte delantera y posterior.

El transmisor delantero derecho del sistema de aparcamiento asistido, se encuentra situado en el lado derecho del vehículo; de igual manera, el transmisor izquierdo se encontrará situado en ese mismo lado. Estos son los sensores de ultrasonidos que indicarán si el espacio es suficientemente grande para aparcar.

La dirección asistida electromecánica está situada en la parte delantera del coche (mirar capítulo 4. Estudio de la dirección).

#### **3.4.6.9. Control electrónico de estabilidad ESP**

Como se dijo en el punto anterior, para que el coche pueda aparcar automáticamente, uno de los requisitos es que tenga instalado el control electrónico de estabilidad, el cual va a

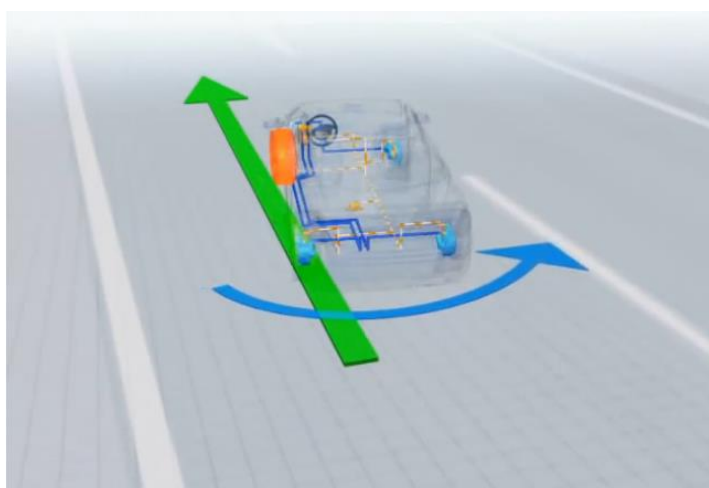
ayudar al coche a mantener la dirección correcta ante un cambio de carril brusco y a evitar el derrape.

En muchas ocasiones, un giro rápido a gran velocidad provoca inestabilidad en el vehículo, este asistente ayuda a recuperar la estabilidad del coche. Esto es especialmente útil si el coche detecta un obstáculo en la autopista, circulando deprisa, y tiene que esquivarlo.

Está compuesto por una unidad de control electrónico (UCE) que interviene en los frenos (frenando una de las ruedas), y en caso necesario en el motor (reduciendo el par) y en la caja de cambios; actuadores en el sistema de frenado y varios sensores:

- Un sensor de ángulo de dirección, el cual desde la columna de dirección, informa del movimiento del volante.
- Sensores del número de revoluciones de cada una de las ruedas que informan sobre los bloqueos. Podemos verlos situados en la figura 3.4.20. (los sensores del régimen de las ruedas).
- Y por último, un sensor de ángulo de giro y aceleración transversal que informa sobre el comportamiento real del vehículo.

La unidad de control electrónico compara (25 veces por segundo) la información recibida por los sensores. Si el comportamiento del vehículo no coincide con la información de giro deseado, el ESP asume que es una situación de riesgo e interviene frenando la rueda más conveniente para recuperar la dirección como se puede ver en la siguiente figura.



### **Figura 3.4.21. Actuación del ESP**

**Fuente:** [www.circulaseguro.com](http://www.circulaseguro.com)

#### **3.4.6.10. Conducción en un atasco**

Con el asistente para la conducción autónoma en atascos, el automóvil a velocidades inferiores a 50 km/h (la máxima velocidad permitida en ciudad) tomará el control del acelerador y la dirección, controlando todos los parámetros del tráfico: distancia y velocidad respecto al vehículo precedente, líneas de la carretera, límites de velocidad, los otros coches que nos rodean, peatones... Tomará el control absoluto del automóvil hasta que el tráfico vuelva a fluir con normalidad.

Todo lo que puede afectar a la circulación del vehículo es monitorizado gracias a los múltiples sensores que incorpora el vehículo: cámaras de vídeo, radar delantero, escáneres láser, sensores de ultrasonidos (todo lo comentado en los puntos anteriores). Todo el perímetro del coche está bajo control, y con esa información el sistema es capaz de manejar al coche de forma automática.

Se debe contar con el control de crucero adaptativo o adaptativo-cooperativo, en combinación con el control de estabilidad, una cámara de vídeo, sistema de mantenimiento de carril, cambio automático de marchas y una dirección electromecánica. Así el vehículo es capaz de tomar el control sobre motor, frenos y dirección para realizar una conducción plena sin intervención alguna por parte del conductor.

Con el control de crucero adaptativo-cooperativo y el asistente de mantenimiento en el carril, el coche va a seguir al vehículo que tiene delante, manteniendo la distancia de seguridad, e irá frenando si ese vehículo va frenando. Se emplea el radar frontal para controlar la distancia de seguridad. Si es necesario detenerse, como puede suceder en una retención en autopista o un atasco el coche se detendrá por completo.

Gracias al cambio automático (imprescindible en cualquier automóvil automatizado) el coche irá reduciendo de marcha cuando corresponda y cuando el vehículo precedente inicie la marcha de nuevo, el coche también lo hará, con suavidad, y acelerando y subiendo de marcha cuando toque.

El asistente de mantenimiento hará que permanezca centrado dentro del carril.

Bosch ha sido uno de las primeras marcas en implementar este sistema a comienzos del año pasado.

### 3.4.7. Mapas de alta precisión

Como se comentó en el punto 3.4.6.4. para que la conducción automatizada pueda tener lugar, además de las múltiples cámaras, sensores y actuadores que lleve incorporado el vehículo, son imprescindibles mapas modernos y actualizados continuamente para poder guiar al automóvil.

Para los coches actuales que llevan incorporados diferentes asistentes de la conducción comentados en el anexo II, basta con un mapa de referencia, pero para poder llevar a cabo una conducción autónoma se necesita un mapa de alta resolución.



**Figura 3.4.22. Mapa para la conducción automatizada**

**Fuente:** [www.e-volucion.es](http://www.e-volucion.es)



**Figura 3.4.23. Mapa para la conducción automatizada (2)****Fuente:** [www.cochealdia.com](http://www.cochealdia.com)**Figura 3.4.24. Ruta trazada de un coche autónomo****Fuente:** [www.elmundo.es/motor](http://www.elmundo.es/motor)

La conducción tiene que ser segura, por ello es imprescindible la continua actualización de los mismos, por ejemplo, los límites de velocidad tiene que estar disponible al instante para que los coches pueden elegir la mejor estrategia proactiva de conducción. Para mantener los mapas actualizados vehículos equipados con los sensores adecuados, recorrerán la carretera, trazando de forma precisa nuevas vías y rutas, también registrarán los cambios más recientes de las vías, creación de un carril, obras o nuevas señales de tráfico; la información sobre los cambios en las condiciones de la carretera será transferida al servidor, verificada e incluida en la base de datos de mapas digital. El mapa actualizado será entonces enviado de nuevo al vehículo automatizado.

Se necesita una imagen más completa, precisa y actualizada, para una conducción automatizada segura en ciudad, autopistas, autovías y cualquier carretera para que el automóvil sepa lo cómo debe actuar en cada momento.

Los mapas usados en los actuales sistemas de navegación y los mapas utilizados en un futuro para esta conducción se diferencian principalmente en dos factores.

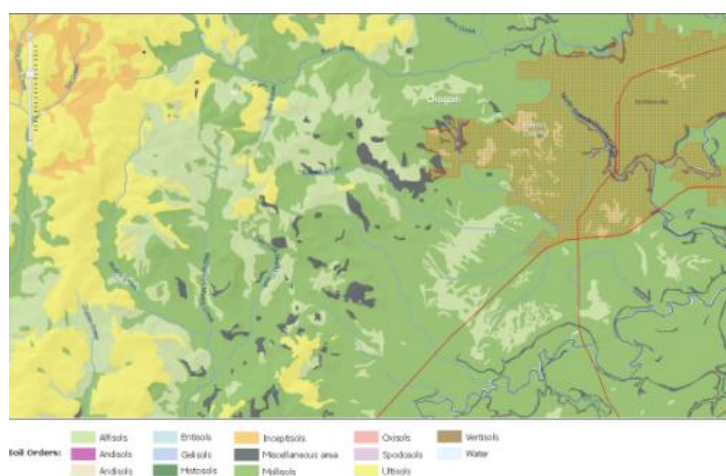
El primero es su precisión significativamente más alta (de centímetros).



El material cartográfico para la conducción automatizada estará provisto de múltiples capas.

La información geográfica podía dividirse en una serie de capas lógicas de información, en lugar de una mera colección aleatoria de objetos. Las colecciones homogéneas de representaciones que era posible administrar como capas. La capa base calculará rutas de un punto A (de partida), al punto B (de llegada).

Estos mapas serán mapas SIG (Sistemas de Información Geográfica). Al contrario de lo que sucede con los mapas tradicionales, los SIG cambian dinámicamente en la medida que los datos alfanuméricos son actualizados. Con la ayuda de esta detallada información del carril, el coche automatizado puede decidir cosas como por ejemplo cuándo y cómo cambiar de carril.



**Figura 3.4.25. Ejemplo de un mapa SIG**

**Fuente:** [www.resources.arcgis.com](http://www.resources.arcgis.com)

### 3.4.8. Elementos necesarios para la automatización

En este punto se comentarán por separado todos los componentes necesarios para la automatización de la dirección, así como sus características y su posición dentro del automóvil.

#### **3.4.8.1. Mapas de alta precisión**

Dos Tablet iPad Pro situados justo en frente del asiento del conductor (como se puede apreciar en la figura 3.4.23.), serán los utilizados. El contenido de estos planos en constante actualización será del líder global en mapas TomTom. Su ligereza y su poco espesor supondrán la elección perfecta.

#### **3.4.8.2. LIDAR**

El LIDAR HDL-32E será fabricado por Velodyne, una de las empresas que se encuentran trabajando en un sistema para que los coches “reconozcan” el entorno por donde circulan.

Se trata de un sensor pequeño, ligero y compacto, así puede pasar desapercibido en la carrocería y ser discreto.

Iría situado en la parte superior central del vehículo.

Características técnicas:

- Determina la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un rayo láser pulsado.
- Rango de 2 cm de precisión.
- Su peso es de 1 kg y 0,3 kg de cableado.
- Integra 32 láseres.
- Alcance de 80m a 100m.
- 700.000 datos recogidos por segundo.
- 360° en el campo de visión horizontal.
- 40° en el campo de visión vertical.
- Consumo bajo de batería.

#### **3.4.8.3. Sensor de ultrasonidos**

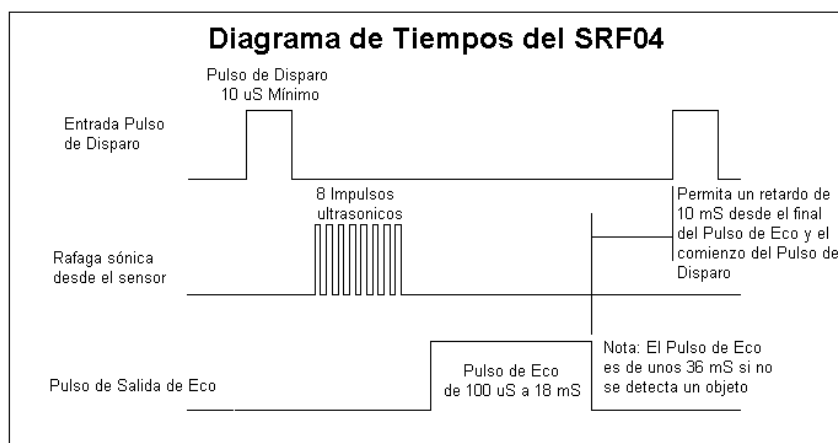
Se utilizará el sensor de distancia por ultrasonidos Srf04. Este modelo integra receptor y emisor. Mide distancias y detecta objetos.

Doce serán el número de ellos repartidos a lo largo del coche. Habrá 4 sensores situados en la parte delantera, a la altura del parachoques (figura 3.4.20.) y otros 4 a la misma

altura en la parte trasera; en la parte izquierda, central izquierda, derecha y central derecha. Por último, otro situado en cada uno de los extremos de la parte delantera y trasera.

Como se comentó anteriormente, funciona por ultrasonidos, su uso se basa en enviar un pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno.

Los impulsos emitidos viajan a la velocidad del sonido hasta alcanzar un objeto, entonces el sonido es reflejado y captado de nuevo por el receptor de ultrasonidos. Leva un controlador incorporado que emite una ráfaga de impulsos y a continuación empieza a contar el tiempo que tarda en llegar el eco. Este tiempo se traduce en un pulso de eco de anchura proporcional a la distancia a la que se encuentra el objeto.



**Figura 3.4.26. Diagrama de tiempo del Srf04**

**Fuente:** [www.superrobotica.com](http://www.superrobotica.com)

Características técnicas:

- Tensión: 5V
- Consumo. 30 mA Tip. 50 mA máximo
- Frecuencia: 40 KHz
- Distancia mínima: 3 cm
- Distancia máxima: 300 cm
- Sensibilidad: detecta un palo de escoba a 3m
- Pulso de disparo: 10 uS min. TTL
- Pulso de eco: 100 uS- 18 mS

- Retardo entre pulsos: 10 mS mínimo
- Tamaño: 43x20x17 mm
- Peso: 10 g

#### **3.4.8.4. Cámara estereoscópica**

Consigue imágenes en 3D intentando simular el comportamiento de ojo humano con dos cámaras u objetivos, que capturan figuras a la vez para crear la imagen real en 3D.

Se colocarán dos cámaras de la marca japonesa Subaru, cada una con una lente, situadas a ambos lados del espejo retrovisor, y un motor de procesamiento de imágenes en 3D.

De esta manera, se podrán calcular distancias, control de frenada o reconocimiento de peatones y ciclistas.

#### **3.4.8.5. Cámara de infrarrojos**

Esta cámara de visión nocturna irá colocada a la altura del parabrisas, empotrada en la parte exterior del automóvil. Sin embargo, la luz infrarroja saldrá de dos faros infrarrojos situados a izquierda y derecha de la parrilla del radiador (al igual que en el Mercedes Benz).

Características técnicas:

- Elemento de imagen: CMOS color de ¼ pulg
- Resolución: 420 líneas de TV
- Iluminación mínima: 1,0 lux/ 0 lux con IR On (F 1.2)
- Lente: 2,8 mm
- Ángulo de visión 120°
- Protección del exterior: IP67
- Control automático de ganancia
- Relación señal ruido: 48 dB
- Alimentación: 12V
- Consumo: 180 mA
- Alcance de los infrarrojos: 150 m
- Dimensiones: 30 mm de diámetro y 38 mm de largo

### 3.4.8.6. Cámara en el salpicadero

Esta pequeña cámara irá colocada justo detrás del retrovisor, en la parte interior del coche, apuntando hacia el conductor. Su misión es que el conductor no aparte la conducción de la carretera aunque el coche se encuentre automatizado.

Características técnicas:

- Señal PAL y NTSC
- Resolución: NTSC 768x492 y PAL 752x582
- Resolución 450 líneas de TV
- Lente ¼ pulgadas CCD
- S/N ratio: 48 dB
- Iluminación mínima: 1,5 LUX/F2.0
- Contiene micrófono
- A.G.C+ 18 dB máx
- Salida de vídeo 1.0V p-p composite a 75Ω
- Lente F/N: 4,3
- Ángulo de visión: 78°
- Lente focal: 0,99 mm
- Alimentación DC5V +/- 0,5V
- Consumo: 250 mA
- Dimensiones: 19 mm de diámetro y 74 mm de largo
- 30 fotogramas por segundo
- Peso: 30 g

### 3.4.8.7. Cámara trasera

Esta cámara externa se encuentra situada en la parte posterior del coche, centrada debajo de la puerta del maletero.

Características técnicas:

- Interfaz: salida AV,SD/ MMC,USB 2.0
- Ángulo de visión: 140°
- Alcance: 100 m
- Código de vídeo: H.264
- Resolución: 720x480

- Tarjeta: 32 GB
- Sensor de imagen: 1/3 color CMOS
- Máximo de memoria externa: 64 GB
- Tamaño de la pantalla: 2,7 pulgadas
- Píxeles: 500 MB
- Batería integrada
- Señal: PAL y NTSC

#### 3.4.8.8. Cámara HD

Por último dos cámaras HD, situadas en la parte delantera del automóvil, ancladas a un soporte justo encima del parachoques (figura 3.4.4).

*The Imaging Source*, un fabricante de cámaras para el procesamiento industrial de imágenes, será el encargado de proporcionarlas.

Características técnicas:

- Cámara CMOS ultra compacta a color
- Resolución estándar 96x96
- Velocidad puede variar de 6 a 200 fotogramas por segundo
- Resolución y velocidad configurables
- Sensibilidad 1,4 V/lx a 14 V/lx-s
- Vía full HD
- 5 mega píxeles
- Dimensiones: 36x36x23 mm
- USB 2.0
- Disponible gatillo de entrada y I/Os digital

El software cubre las expectativas de programadores y usuarios más exigentes. Todas las funciones de las cámaras pueden ser fijadas por el software. Adicionalmente, varios modelos automáticos están disponibles, lo cual garantiza la calidad óptima de la imagen aun cuando las condiciones de iluminación varíen.

### 3.4.9. Motor de acople y desacople

El motor de acople y desacople actúa sobre el eje de la dirección para poder tomar el control sobre ella. El pulsador activa o desactiva un relé.

Su funcionamiento es prácticamente idéntico al del motor de arranque. Éste es un motor eléctrico que engrana con el motor principal para el arranque. Es alimentado con corriente continua con imanes de tamaño reducido y se emplea para facilitar el encendido de los motores de combustión interna, para vencer la resistencia inicial de los componentes cinemáticos del motor al arrancar.

Al igual que es necesario para el encendido, también se necesitará un motor eléctrico que facilite el acople y desacople del sistema de dirección automatizada.

El acople equivale a un control de la dirección automatizada, cuando se desacoplan los engranajes, podremos tomar el control del coche.

Este motor actúa sobre el eje de la dirección. En un punto determinado tendremos un engranaje que se acoplará y se desacoplará.

El sistema utilizado será por inercia en vez de acoplamiento libre, por lo tanto, el relé no irá montado sobre el motor (por medio de una palanca). Cuando llega corriente al motor de acople y desacople, su eje principal gira con rapidez. La velocidad es suficiente para despedir el piñón a lo largo del vástago, de esta forma, se engrana con el volante.

Una rueda dentada (volante motor) irá fija sobre la barra de acoplamiento, y engranará con el piñón Béndix de pocos dientes para la automatización.

La relación de transmisión de los dientes es la siguiente:

Corona del volante motor (2):  $Z_2 = 36$  dientes

Piñón del motor (1):  $Z_1 = 20$  dientes

$$i = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{20}{36} = 0,55$$

El engranaje de entrada es el piñón Béndix.

En el plano de conjunto del motor, se encuentran numerados todos sus componentes, a continuación, se definirán los más relevantes.

**Bobina de campo:** Está compuesta por muchas vueltas de hilo de cobre esmaltado y encintadas, son curvadas y se encuentran sobre la parte exterior del armazón. Cuando la corriente eléctrica entra en contacto con la bobina, se crea un flujo magnético.

**Escobilla:** Establece una conexión entre la parte fija y la rotatoria del dispositivo. Son unos bloques de carbón que mediante unos resortes, hacen presión sobre ellos para establecer el contacto eléctrico necesario. Se fijan en el conmutador.

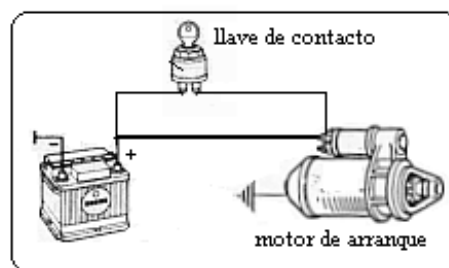
**Conmutador:** Las maquinas eléctricas de corriente continua tienen conmutador, en vez de colector. Es un interruptor eléctrico rotativo que periódicamente cambia la dirección de la corriente entre el rotor (parte móvil) y el circuito externo. Proporciona la energía a la mejor ubicación.

Consta de un anillo concéntrico al eje de giro y aislado eléctricamente del mismo, formado por una serie de láminas aisladas (delgas) unas de otras.

**Batería:** Es el aparato electromecánico que acumula energía eléctrica para suministrarla. Se conecta con el relé.

**Relé:** Dispositivo electromecánico que estimulado por una corriente eléctrica muy débil, abre o cierra un circuito en el cual se disipa una potencia mayor que en el circuito estimulador.

Así funcionaría un motor de arranque. En nuestro caso en vez de llave de contacto, tendríamos un pulsador, conectado al relé. Y como el sistema utilizado es por inercia, éste no iría acoplado al motor.



**Figura 3.4.27. Conexión del motor de arranque**

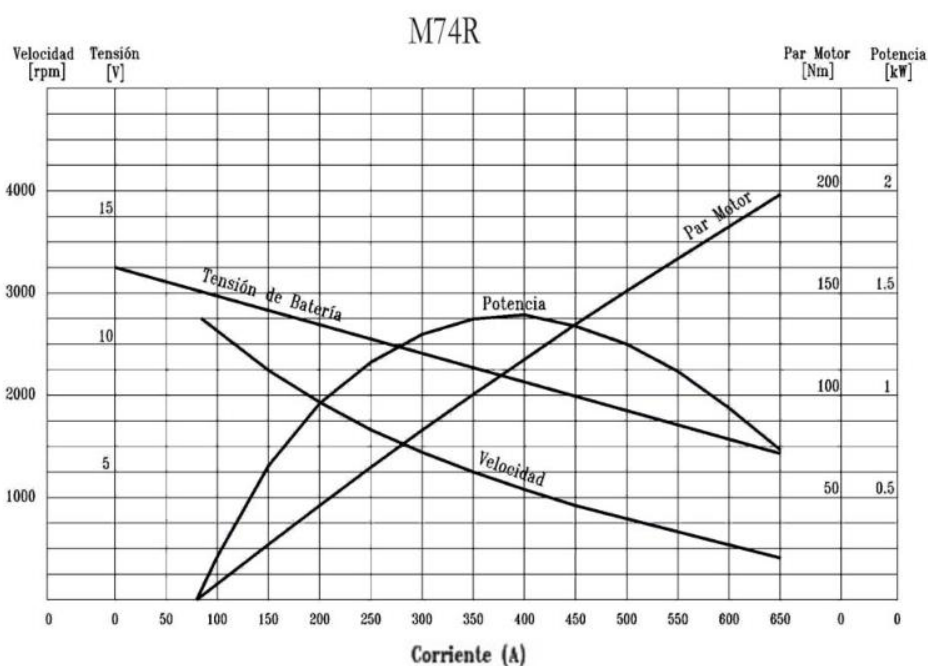
**Fuente:** [www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)



Las características del motor y la gráfica son del motor de arranque M74R. El motor de acople y desacople tendrá una características muy similares, ya que la función y el objetivo de ambos es prácticamente el mismo.

#### Características técnicas:

- Aplicación: acople y desacople del sistema de dirección para su automatización
- Tensión: 12V
- Potencia: 1,5 KW
- Torque de bloqueo: 30 Nm
- Rotación: sentido horario o antihorario
- Temperatura de funcionamiento: -20 C° a 110 C°
- Peso: 3,4 kg
- Vida útil: 7 a 10 años de uso
- Montaje : diseñado para los coches automatizados
- Tratamientos: temple superficial a los engranajes para aumentar su dureza superficial y vida a fatiga. Obtención de una superficie dura, resistente al desgaste y tenaz. Mayor resistencia a los esfuerzos de choque y flexión.
- Protección contra la entrada de agua, polvo y aceite.



**Figura 3.4.28. Curvas del motor M74R. Corriente VS. Velocidad, tensión, par motor y potencia**

**Fuente:** [www.indiel.com.ar](http://www.indiel.com.ar)

## CAPÍTULO 3. ANEXOS

### 3.5. Anexo V. Cálculos

#### 3.5.1. Introducción al sistema de transmisión de potencia piñón-cremallera

Cuando se efectúa un giro en el volante de un automóvil, se gira al mismo tiempo un piñón situado en el otro extremo del eje del volante, éste a su vez engrana con una cremallera.

El sistema formado por piñón y cremallera es el tipo de caja de dirección más utilizado y se explicará su función en el punto 4.3. “elementos de la dirección”, del presente proyecto.

Se trata de un caso particular en el que una de las ruedas tiene un radio infinito. Con este sistema se consigue transformar el movimiento circular que llega a la rueda dentada (piñón) en rectilíneo al engranar sus dientes con los dientes de una barra prismática (cremallera) que se desplaza longitudinalmente (movimiento rectilíneo) por lo que los dientes de la rueda dentada y la cremallera deben tener el mismo paso, con el fin de que el piñón pueda desplazarse sobre la cremallera.

Se trata de un sistema reversible, aunque su utilización normal es la del piñón actuando sobre la cremallera, es decir, conversión del movimiento circular en continuo.

La mayor parte de este anexo irá enfocado al cálculo de los diferentes parámetros del engranaje helicoidal.

#### 3.5.2. Datos del piñón y la cremallera

El piñón utilizará un dentado helicoidal con dirección de la hélice hacia la derecha.

La cremallera utilizará dentado helicoidal con dirección de la hélice en sentido contrario.

Piñón (1)

$m_1 = 3,5$

$Z_1 = 18$

Sentido de la hélice: derecha

$$\varphi_{n1} = 20^\circ$$

Anchura de cara= 25 mm

Tipo de cubo: ninguno

Diámetro del eje nominal= 20 mm

Ranura de chaveta: ninguna

### Cremallera (2)

La cremallera, al igual que el piñón, tendrá dentado helicoidal, para un perfecto engrane, con el mismo ángulo de presión normal.

Ésta no se adjuntará en los planos, ya que en la biblioteca de diseño del Solidworks no existe la opción cremallera con dentado helicoidal. Aun así, se incluirá en el índice y también en el ensamblaje de la dirección, añadiendo una de dentado recto.

$$m2 = 3,5$$

$$Z2 = 35$$

$$\varphi_{n2} = 20^\circ$$

Anchura de cara= 25 mm

$$L2 = 360 \text{ mm}$$

Sentido de la hélice: izquierda

Para que engranen se tienen que cumplir las siguientes condiciones:

$$m1 = m2$$

$$p1 = p2$$

$$h1 = h2$$

$$b1 = b2$$

$$\varphi_{n1} = \varphi_{n2}$$

Todos los valores están normalizados, por ello, no se adjuntarán los planos del piñón y del engrane.

### 3.5.2.1. Redondeo de decimales y subíndices

Tanto en la obtención de los pasos como en los parámetros del diente, se utilizarán tres cifras decimales para evitar errores mayores en las operaciones siguientes por arrastre de decimales.

Con respecto a los subíndices empleados, al piñón le corresponde el 1 y a la cremallera el 2. Durante todo el desarrollo de los cálculos se suprimirá éste, pero todos los cálculos se referirán al engranaje, a menos que se especifique lo contrario.

### 3.5.2.2. Programas utilizados

Todas las operaciones realizadas se plasmarán en este anexo, no siendo necesario ningún programa de cálculo.

### 3.5.2.3. Definiciones y abreviaturas

Módulo:  $m$

Número de dientes:  $Z$

Ángulo de presión:  $\varphi$ . Es el ángulo que forma la línea de engrane con la tangente a las dos circunferencias primitivas, en un par de engranajes. Su valor normalizado más común es de  $20^\circ$ . Tratando engranajes helicoidales, como en este caso se establece un ángulo de presión normal  $\varphi_n$  que equivale al ángulo de presión de los engranajes rectos, y el tangencial  $\varphi_t$  medido en la sección transversal del engranaje.

Ángulo de hélice:  $\psi$ . Es el ángulo que forma la generatriz del cilindro del engranaje con el desarrollo de la hélice. En un engranaje con dentado recto  $\psi = 0$ .

Longitud:  $L$

Diámetro exterior:  $D_e$

Diámetro primitivo:  $D$

Diámetro interior:  $D_{int}$

Paso (también llamado paso circunferencial,  $p_c$ ):  $p$

Paso normal:  $P_n$

Paso diametral:  $P_d$

Diámetro de paso:  $D_p$

Paso diametral normal:  $P_{nd}$

Paso axial:  $P_x$

Espesor del diente:  $s$

Addendum o cabeza:  $a_c$ . Es la distancia radial entre la circunferencia primitiva y el borde superior del diente.

Deddendum o raíz:  $a_p$ . Es la distancia radial medida desde el borde inferior hasta la circunferencia primitiva.

Altura del diente:  $h$ . Es la suma del addendum y dedendum.

Ángulo de presión normal:  $\phi_n$ . Válido para engranajes helicoidales

Ángulo de presión transversal:  $\phi_t$ . Válido para engranajes helicoidales

Ancho de cara:  $F$

Velocidad línea de paso:  $V_t$

Potencia:  $P$

Par máximo:  $T$

Relación de transmisión:  $i$

Desmultiplicación de la dirección:  $R_d$

Fuerza tangencial o transmitida:  $W_t$ . Es la fuerza que realmente impulsa al engrane. Actúa en dirección tangencial a la superficie de paso y es perpendicular al eje del engrane. Produce el par torsional que se transmitirá del engranaje motriz al conducido.

Fuerza radial:  $W_r$ . Actúa hacia el centro del engrane, tiende a separar las ruedas dentadas.

Fuerza axial:  $W_x$ . Actúa en el plano tangencial y es paralela al eje. Es una fuerza indeseable. Los engranajes rectos no la generan.

Esfuerzo flexionante:  $S_t$

Factor de sobrecarga:  $K_o$

Factor por tamaño:  $K_s$

Factor por distribución de carga:  $K_m$

Factor de proporción del piñón:  $C_{pf}$

Factor por alineamiento de engranado:  $C_{ma}$

Factor por espesor de borde:  $K_b$

Relación de respaldo:  $m_b$

Espesor de la orilla:  $t_r$

Profundidad total del diente:  $h_t$

Factor dinámico:  $K_v$

Número de calidad AGMA:  $Q_v$

Factor de geometría:  $J$

Resistencia a la picadura:  $S_c$

Factor de geometría para la resistencia a la picadura:  $I$

Coefficiente elástico:  $C_p$

Módulo de elasticidad:  $E$

Coefficiente de rodadura:  $r$

Peso del vehículo:  $P$

Resistencia a la rodadura: F

Coefficiente de penetración aerodinámica:  $C_x$

Coefficiente de adherencia: f

Masa del vehículo: m

Velocidad del vehículo: v

### 3.5.3. Cálculo de los diferentes parámetros del piñón

Antes de comenzar se deben definir cuál será el ángulo de hélice para el piñón.

Su valor puede variar desde 0 grados hasta 45.

Velocidad lenta: 5°-14°

Velocidad normal: 15°-29°

Velocidad elevada: 30°-45°

$\psi_1 = 25^\circ$  suele ser un valor bastante común que correspondería a una velocidad normal.

Obtención del diámetro primitivo:

$$m = \frac{D}{Z}; D = m \cdot Z = 3,5 \cdot 18 = 63 \text{ mm}$$

#### 3.5.3.1. Pasos

Paso (circunferencial)

$$m = \frac{D}{Z} = \frac{P}{\pi}; p = m \cdot \pi = 3,5 \cdot \pi = 11 \text{ mm}$$

$$p = 11 \text{ mm}$$



Módulo m	Paso p	Módulo m	Paso p	Módulo m	Paso p
0.5	1.571	2	6.284	6	18.850
0.55	1.727	2.25	7.069	6.5	20.420
0.6	1.885	2.5	7.854	7	21.991
0.7	2.199	2.75	8.639	8	25.133
0.8	2.513	3	9.425	9	28.274
0.9	2.827	3.25	10.210	10	31.416
1	3.142	3.5	10.996	11	34.557
1.125	3.534	3.75	11.781	12	37.699
1.25	3.927	4	12.566	14	43.982
1.375	4.320	4.5	14.137	16	50.265
1.5	4.712	5	15.708	18	56.549
1.75	5.498	5.5	17.279	20	62.832

**Tabla 3.5.1. Tabla de módulos y pasos unificados para engranajes**

**Fuente:** [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

Paso normal

$$P_n = p_* \cos \psi = 11 \text{ (mm)} * \cos 25^\circ = 9,969 \text{ mm}$$

$$P_n = 9,969 \text{ mm}$$

Paso diametral

Desconocemos cual es el paso diametral, por lo tanto elegiremos uno con valor 8, y comprobaremos si los posteriores resultados son coherentes.

Diámetro de paso

$$D_p = \frac{Z}{P_d}; D_p = \frac{18}{8} = 2,25 \text{ mm}$$

$$D_p = 2,25 \text{ mm}$$

Paso diametral normal

$$P_{nd} = \frac{P_d}{\cos \psi} = \frac{8}{\cos 25} = 8,827$$

$$P_{nd} = 8,827$$

Paso axial

$$P_x = \frac{\pi}{P_d \cdot \tan \psi} = \frac{\pi}{8 \cdot \tan 25^\circ} = 0,842$$

$$P_x = 0,842$$

Ancho de cara

$F = 2 \cdot P_x$ . Se tiene que cumplir  $\frac{F}{P_x} > 2$  para aprovechar la acción helicoidal del engranaje. El ancho de cara tiene que ir en pulgadas y  $P_x$  es adimensional.

$$1 \text{ pulg} = 25,4 \text{ mm}; F = 0,984 \text{ pulg.}$$

La acción helicoidal no se aprovecha. Recalculamos alguno de los valores supuestos anteriormente.

Paso axial:

$$P_x = \frac{F}{2} = \frac{0,984}{2} = 0,492$$

$$P_x = 0,492$$

$$P_x = \frac{\pi}{P_d \cdot \tan \psi}; 0,492 = \frac{\pi}{P_d \cdot \tan 25^\circ}; P_d = 13,69 \approx 14$$

$P_d = 14$ . Para utilizar valores normalizados.

Diámetro de paso:

$$D_p = \frac{Z}{P_d}; D_p = \frac{18}{14} = 1,286 \text{ mm}$$

Paso diametral normal:

$$P_{nd} = \frac{P_d}{\cos \psi} = \frac{14}{\cos 25^\circ} = 15,447$$

### 3.5.3.2. Ángulo de presión

Como se mencionó en el punto 3.5.2.3. en los engranajes helicoidales se establece un ángulo de presión normal y ángulo de presión transversal.

El ángulo de presión normal era de  $20^\circ$ , un valor ya normalizado, y el transversal lo calcularemos mediante la siguiente fórmula:

$$\varphi_t = \operatorname{tg}^{-1} * \left[ \frac{\operatorname{tg} \varphi_n}{\cos \psi} \right] = \operatorname{tg}^{-1} * \left[ \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 25^\circ} \right] = 21,880 = 21^\circ 52' 48''.$$

El ángulo de hélice lo definimos con  $25^\circ$ .

Ambos ángulos se relacionan mediante la expresión siguiente:

$$\cos \psi = \frac{\operatorname{tg} \varphi_n}{\operatorname{tg} \varphi_t} = \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\operatorname{tg} 21^\circ 52'}; \cos \psi = 0,906; \psi = 24^\circ 59' \approx 25^\circ$$

Se cumple por lo tanto  $\varphi_t = 21^\circ 52'$

### 3.5.3.3. Dimensiones del engranaje

#### Diámetro exterior

$$D_e = (Z+2)*m = (18+2)*3,5 = 70 \text{ mm}$$

$$D_e = 70 \text{ mm} > D$$

#### Diámetro exterior

$$D_{int} = D - 2,5*m = 63 - (2,5*3,5) = 54,25 \text{ mm}$$

#### Espesor del diente

$$s = \frac{p}{2} = \frac{11 \text{ (mm)}}{2} = 5,5, \text{ mm}$$

$$s = 5,5, \text{ mm}$$

#### Addendum o cabeza

$$a_c = m = 3,5 \text{ mm}$$

$$a_c = 3,5, \text{ mm}$$

Deddendum o raíz

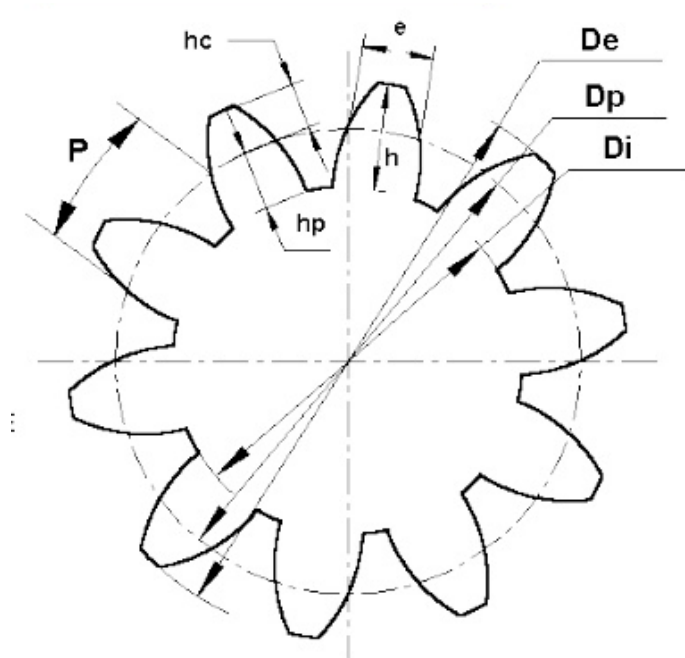
$$a_p = 1,25 * m = 1,25 * 3,5 = 4,375 \text{ mm}$$

$$a_p = 4,375 \text{ mm}$$

Altura de diente

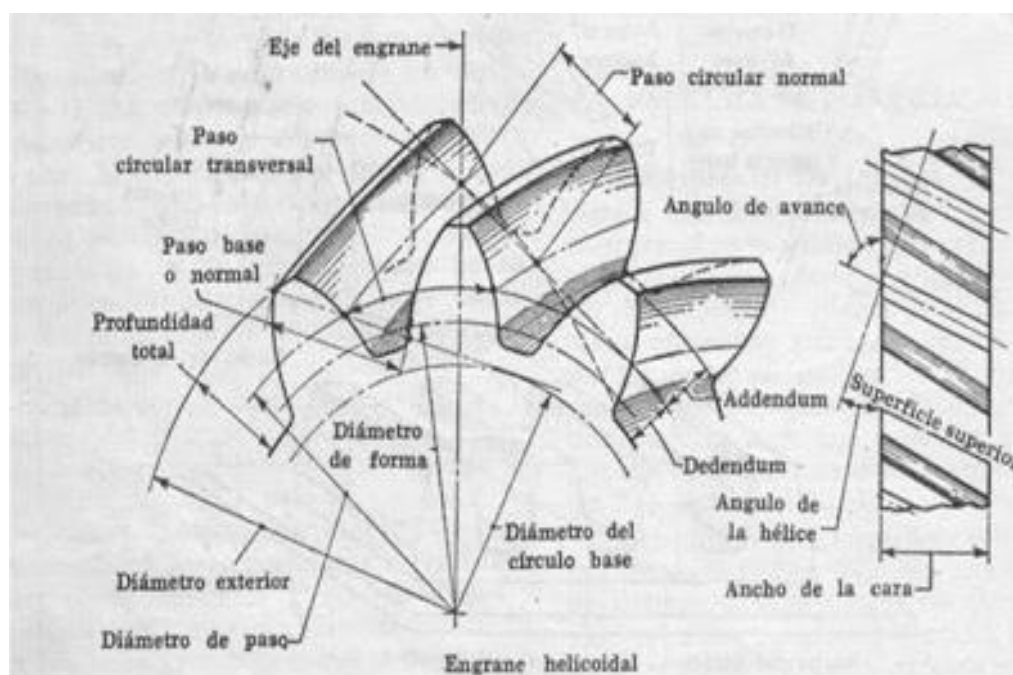
$$h = 2,25 * m = a_c + a_p = 2,25 * 3,5 = 7,875 \text{ mm}$$

$$h = 7,875 \text{ mm}$$



**Figura 3.5.1. Dimensiones del engranaje recto**

**Fuente:** [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)



**Figura 3.5.2. Dimensiones del engranaje helicoidal**

**Fuente:** [www.demaquinas.blogspot.com](http://www.demaquinas.blogspot.com)

#### 3.5.3.4. Relación de transmisión y velocidades

##### Relación de transmisión

La caja de dirección tiene dos misiones, proporcionar la desmultiplicación necesaria y

La acción que se origina en una caja de acción es multiplicadora, es decir,  $i > 1$ .

En turismos el número de vueltas al volante suele ser tres y media, pudiendo llegar en algunos a las dos y media. Elegiremos un valor de 1,50.

$$i = 1,50$$

$$i = \frac{w_2}{w_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

Para dos ruedas de entrada y salida la relación de transmisión  $i$  es la razón de las velocidades angulares de éstas, cuyas velocidades angulares son inversamente proporcionales a los radios de las circunferencias primitivas y directamente proporcionales a los números de dientes.

Como la relación de transmisión es mayor que la unidad, el engranaje será multiplicador, es decir,  $n_2 > n_1$ .

Vamos a suponer una velocidad del piñón de 1500 rpm.

#### Velocidad de línea de paso

$V_t = r \cdot \omega$ . Donde  $r$  corresponde al radio del diámetro de paso.

$$n = 1500 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 157,8 \text{ rad/s}; \omega = 157,8 \text{ rad/s}$$

$$D_p = 1,286 \text{ mm}; r = 0,643 \text{ mm} = 0,643 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$V_t = 0,643 * 10^{-3} \text{ m} * 157,8 \text{ rad/s} = 0,1 \text{ m/s}$$

#### **3.5.3.5. Desmultiplicación**

El coeficiente de desmultiplicación “ $R_d$ ” define la relación entre el desplazamiento angular del volante y el de las ruedas. No se debe confundir este coeficiente con la relación de transmisión.

$$R_d = \frac{A}{B} = \frac{\text{ángulo girado en el volante}}{\text{ángulo girado en las ruedas}}$$

Esta relación viene determinada por dos parámetros que son la relación entre los engranajes del mecanismo de dirección (piñón-cremallera) y por otro lado, la relación de palanca en los elementos que comunican este mecanismo con las ruedas.

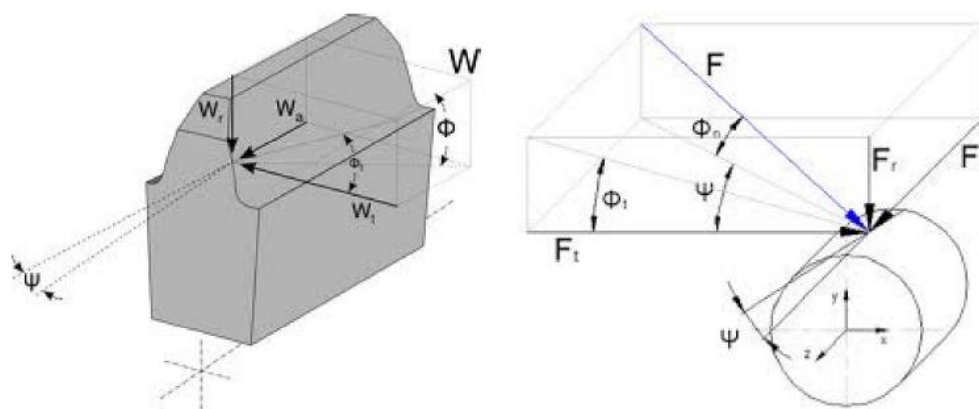
Así si en una vuelta completa del volante de la dirección ( $360^\circ$ ) se consiguiera una orientación de  $20^\circ$  en las ruedas, se dice que la desmultiplicación es de  $360/20$ , es decir, 18/1.

Cuanto mayor es la desmultiplicación, menor es el esfuerzo que se requiere para moverla. Con un valor muy alto será más difícil notar las reacciones del coche.

Su valor varía entre 12/1 y 24/1, dependiendo del valor del peso del vehículo que carga sobre las ruedas directrices.

Como el coche cuenta con dirección asistida electromecánica, se fijará el valor de desmultiplicación en 18/1 (20 grados con una vuelta completa de volante).

## 3.5.3.6. Fuerzas



**Figura 3.5.3. Fuerzas sobre los dientes de un engranaje helicoidal**

**Fuente:** Apuntes de cálculo y diseño de máquinas II. Tema 7. Engranajes helicoidales y cónicos

Fuerza tangencial

$W_t = \frac{T}{r}$ ; donde  $r$  corresponde al radio del diámetro primitivo.

$$D = 63 \text{ mm}; r = 31,5 \text{ mm} = 0,0315 \text{ m}$$

La suma compuesta por el par de giro aplicado al volante y el par de la servoasistencia constituye el par eficaz en la caja de dirección para el movimiento de la cremallera. Un par de 5 N\*m asegura una buena conducción para el piloto y es el que tomaremos para calcular las fuerzas.

$$T = 5 \text{ N*m}$$

$$W_t = \frac{T}{r} = \frac{5 \text{ N*m}}{0,0315 \text{ m}} = 158,73 \text{ N}$$

$$W_t = 158,73 \text{ N}$$

Fuerza radial

$$W_r = \text{tg } \theta_t * W_t = \text{tg } 21^\circ 52' * 158,73 \text{ N} = 63,7 \text{ N}$$

Fuerza axial

$$W_x = \operatorname{tg} \psi * W_t = \operatorname{tg} 25^\circ * 158,73 \text{ N} = 74,02 \text{ N}$$

**3.5.3.7. Esfuerzo flexionante**

Bajo un criterio estático un diente se simula a una viga o barra en voladizo solicitada por una fuerza en su extremo que le transmite el diente que engrana.

Se genera un esfuerzo a flexión en el diente que alcanza su máximo valor en la raíz, por lo que comprobaremos por resistencia a flexión, que la tensión base no sobrepase el máximo admisible.

La fuerza tangencial  $W_t$  produce un esfuerzo flexionante en el diente que se calcula con la ecuación de Lewis.

$$S_{tp} = \frac{W_t * P_d}{F * J_p} * K_o * K_s * K_m * K_b * K_v$$

En primer lugar se calcularán los factores adimensionales.

Factor de sobrecarga ( $K_o$ ): Consideran la probabilidad de que variaciones de carga, vibraciones, choques, cambios de velocidad y otras condiciones, puedan causar cargas máximas mayores que  $W_t$ .

Se trata de una fuente de potencia es uniforme con coque moderado.

**TABLA 9-5 Factores de sobrecarga sugeridos,  $K_o$**

Fuente de potencia	Máquina impulsada			
	Uniforme	Choque ligero	Choque moderado	Choque pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.50	1.75
Choque ligero	1.20	1.40	1.75	2.25
Choque moderado	1.30	1.70	2.00	2.75

**Tabla 3.5.2. Factor de sobrecarga,  $K_o$**

**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas, Mott.

$$K_o = 1,50$$



El factor por tamaño  $K_s$ , depende del paso diametral, y en consecuencia, del módulo.

**TABLA 9-6 Factores de tamaño sugeridos,  $K_s$**

Paso diametral, $P_d$	Módulo métrico, $m$	Factor de tamaño, $K_s$
$\geq 5$	$\leq 5$	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

**Tabla 3.5.3. Factor de tamaño,  $K_s$**

**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas, Mott.

Como el paso diametral es 14, y el módulo es menor de 5, le corresponderá un factor de tamaño de 1,00.

$$K_s = 1,00$$

Factor de distribución de carga ( $K_m$ ): Se considera para tener en cuenta los árboles, cojinetes, cajas y la estructura donde se instalará la rueda engranada.

Existen diversos factores que producen desalineamiento como dientes con poca presión, o distorsiones térmicas durante su funcionamiento.

Para corregirlo definimos el factor de carga como:

$$K_m = 1 + C_{pf} + C_{ma}$$

$C_{pf}$ , el factor de proporción del piñón, depende del ancho de cara y la relación  $F/D_p$  y  $C_{ma}$  es el factor por alineamiento de engranado

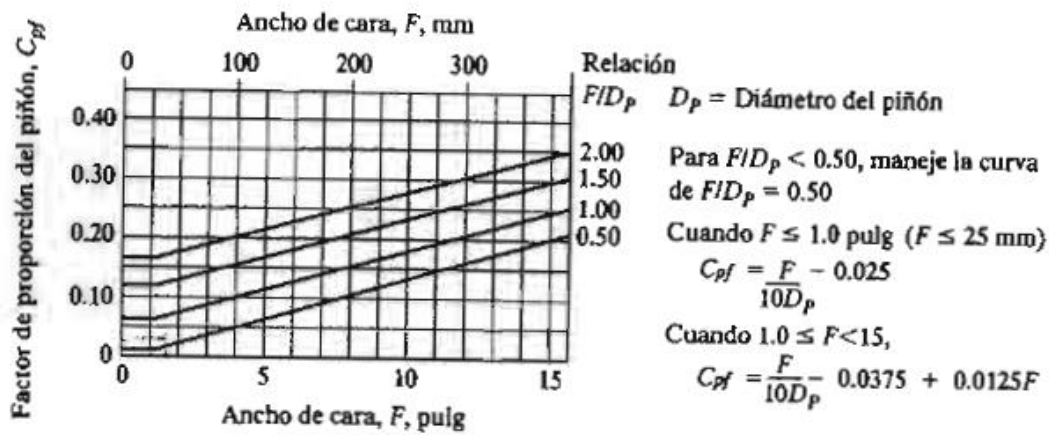


Figura 3.5.4. Factor de proporción del piñón,  $C_{pf}$

Fuente: Diseño de elementos de máquinas, Mott.

Con la figura 3.5.4. se obtendrá el factor de proporción del piñón, donde  $D_p$  corresponde al diámetro del piñón.

$$\frac{F}{D_p} = \frac{25 \text{ mm}}{63 \text{ mm}} = 0,396 \approx 0,4$$

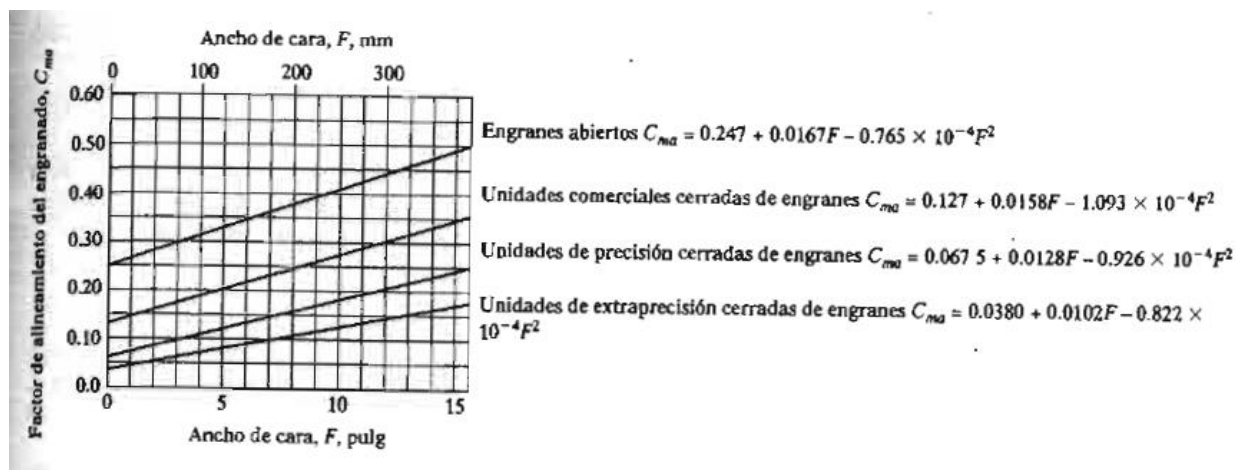


Figura 3.5.5. Factor por alineamiento de engranado,  $C_{ma}$

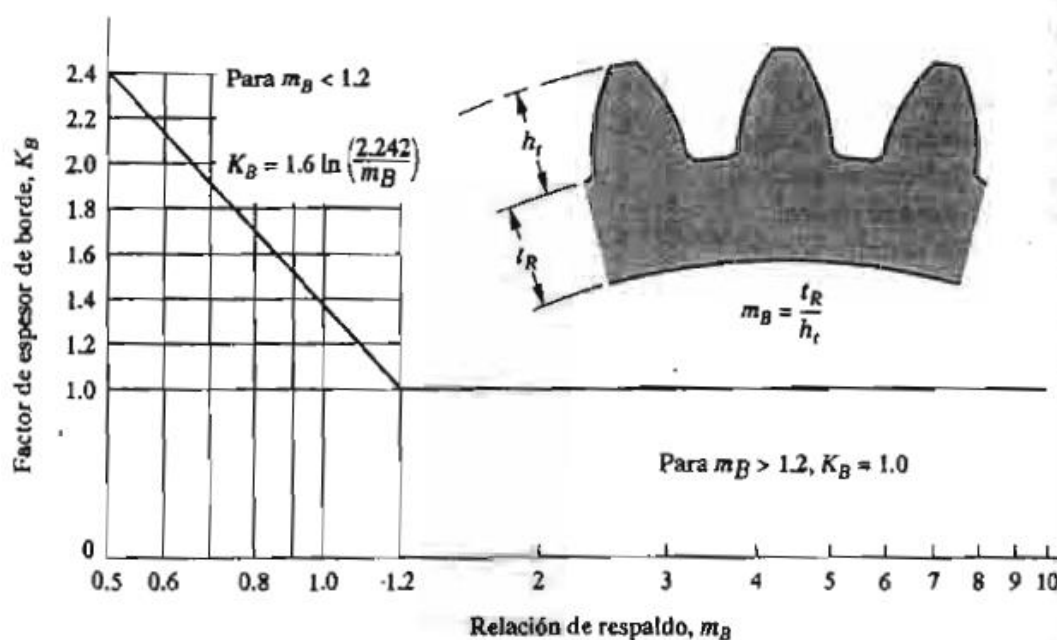
Fuente: Diseño de elementos de máquinas, Mott.

Y con la figura 3.5.5. el factor de alineamiento del engranaje.

Suponemos unidades cerradas comerciales de engranajes donde los cojinetes se montan en una caja de diseño especial que proporciona más rigidez que en los engranajes abiertos, pero donde son bastante liberales las tolerancias de las dimensiones individuales, por lo tanto,  $C_{ma} = 0,15$ .

$$K_m = 1 + C_{pf} + C_{ma} = 1 + 0,4 + 0,15 = 1,55$$

Factor por espesor de borde ( $K_B$ ): si la orilla del engrane es muy delgada se puede deformar y causa que el punto de esfuerzo máximo se mueva.



**Figura 3.5.6. Factor de espesor de borde,  $K_B$**

**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas, Mott.

El parámetro geométrico  $m_b$ , se puede obtener dividiendo el espesor de la orilla  $t_r$ , entre la profundidad total del diente  $h_t$ .

Como suponemos que se trata de un engranaje sólido  $K_b = 1$  ( $m_b > 1,2$ )

Factor dinámico ( $K_v$ ): consideramos que la carga es resistida por un diente, con cierto grado de impacto, y que la carga real sobre el diente es mayor que la carga transmitida sola.

Este factor depende de la exactitud del perfil del diente, sus propiedades elásticas y la velocidad en la que los dientes se ponen en contacto.

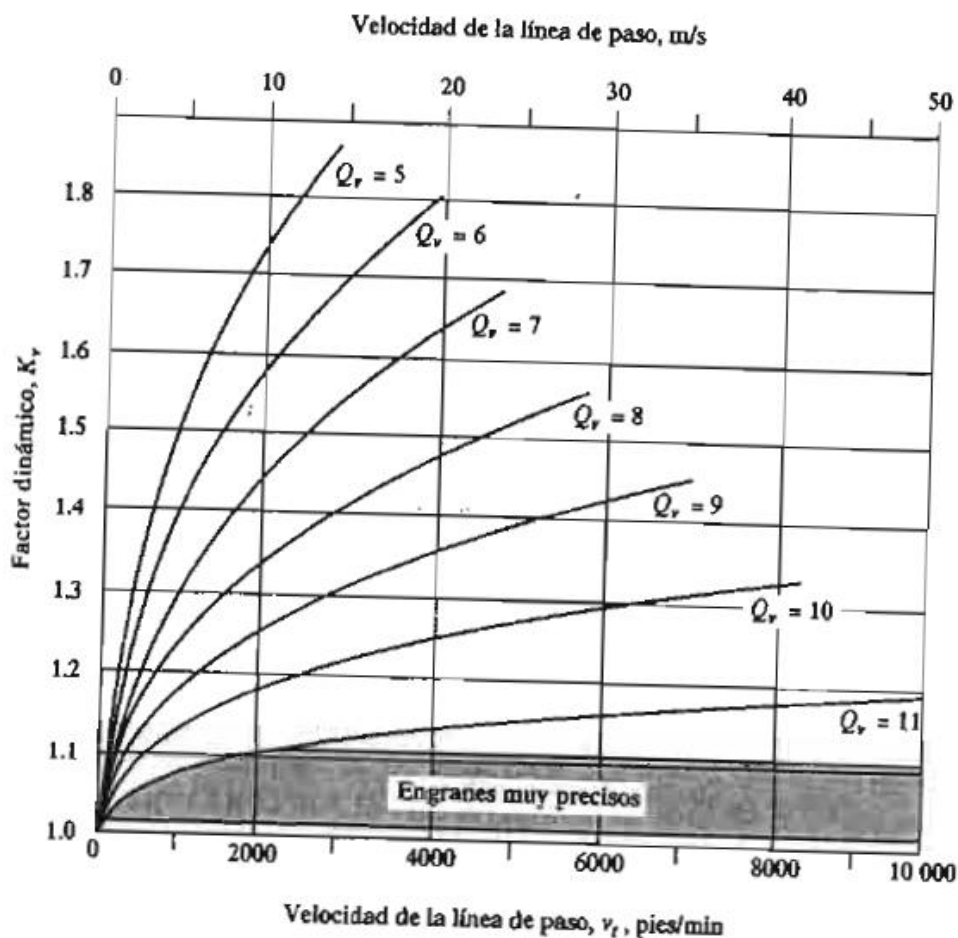
**TABLA 9-1** Valores seleccionados de tolerancia compuesta total

Número de calidad AGMA	Paso diametral, $P_d$	Número de dientes del engrane				
		20	40	60	100	200
Q5	2	0.0260	0.0290	0.0320	0.0350	0.0410
	8	0.0120	0.0130	0.0140	0.0150	0.0170
	20	0.0074	0.0080	0.0085	0.0092	0.0100
	32	0.0060	0.0064	0.0068	0.0073	0.0080
Q8	2	0.0094	0.0110	0.0120	0.0130	0.0150
	8	0.0043	0.0047	0.0050	0.0055	0.0062
	20	0.0027	0.0029	0.0031	0.0034	0.0037
	32	0.0022	0.0023	0.0025	0.0027	0.0029
Q10	2	0.0048	0.0054	0.0059	0.0066	0.0076
	8	0.0022	0.0024	0.0026	0.0028	0.0032
	20	0.0014	0.0015	0.0016	0.0017	0.0019
	32	0.0011	0.0012	0.0013	0.0014	0.0015
Q12	2	0.0025	0.0028	0.0030	0.0034	0.0039
	8	0.0011	0.0012	0.0013	0.0014	0.0016
	20	0.00071	0.00077	0.00081	0.00087	0.00097
	32	0.00057	0.00060	0.00064	0.00069	0.00076
Q14	2	0.0013	0.0014	0.0015	0.0017	0.0020
	8	0.00057	0.00062	0.00067	0.00073	0.00082
	20	0.00036	0.00039	0.00041	0.00045	0.00050
	32	0.00029	0.00031	0.00033	0.00035	0.00039

**Tabla 3.5.4.** Número de calidad para el cálculo de  $K_v$

**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas, Mott.

Supondremos un número de calidad AGMS  $Q_v=8$ , un diente acabado por rectificado (mejora de la exactitud del perfil y distanciamiento).



**Figura 3.5.7. Factor dinámico,  $K_v$**

**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas, Mott.

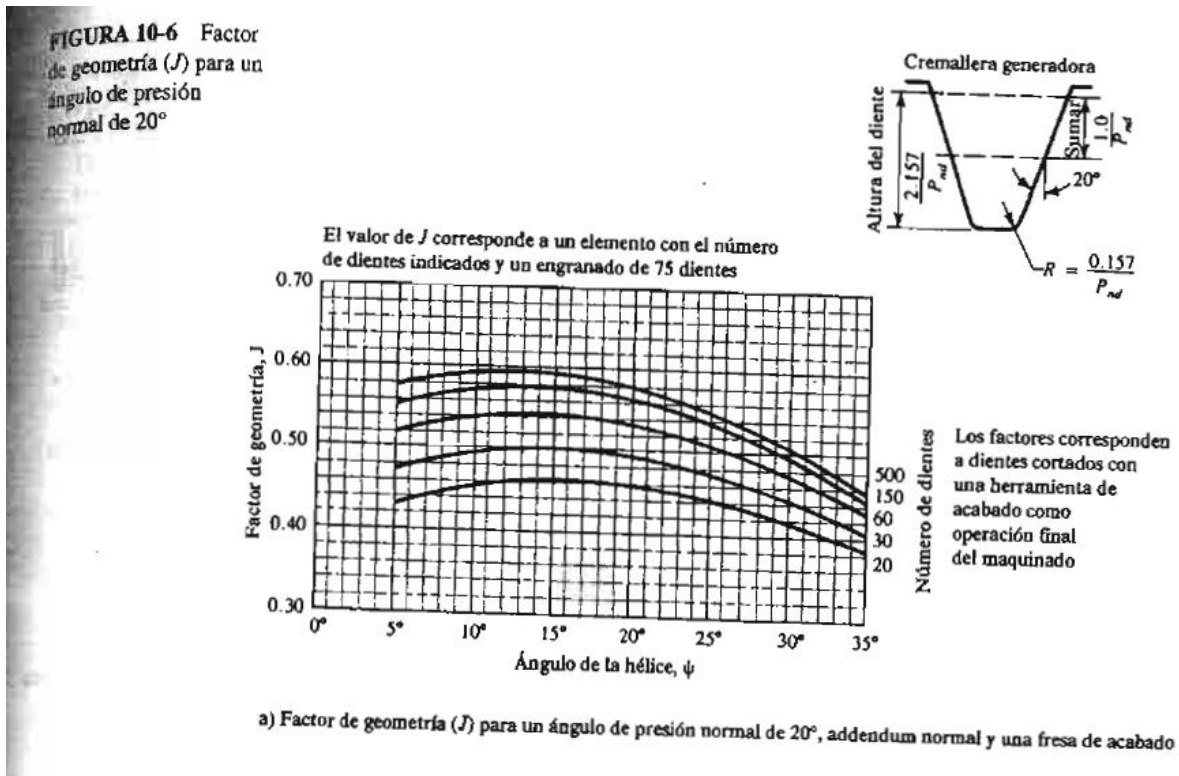
Para calcular este factor utilizamos la figura 3.5.7. con los valores conocidos del número de calidad y los dientes del engrane.

$Q_v=8$ , la velocidad de línea de paso es 0,1 m/s, así que  $K_v= 1,05$

Por último, el factor de geometría para  $\phi_n = 20^\circ$  se hallará con la siguiente gráfica.

El ángulo de hélice es de  $25^\circ$ , y el número de dientes del piñón es de 18.

$$J_p = 0,43$$



**Figura 3.5.8. Factor de geometría,  $J$**

**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas, Mott.

Sustituimos en la ecuación de Lewis:

$$S_{tp} = \frac{W_t \cdot P_d}{F \cdot J_p} \cdot K_o \cdot K_s \cdot K_m \cdot K_b \cdot K_v = \frac{158,73 \cdot 14}{25 \cdot 0,43} \cdot 1,50 \cdot 1,00 \cdot 1,55 \cdot 1,00 \cdot 1,05 =$$

504,65 MPa.

$$S_{tp} = 504,65 \text{ MPa}$$

### 3.5.3.8. Fatiga

Se debe también hacer un estudio a fatiga, donde los dientes se encuentran en un ciclo continuado de carga y descarga.

Sin embargo, al piñón y cremallera se les aplicará un tratamiento térmico para asegurarnos de que no falla por fatiga.

Éstos tienen por objeto mejorar las propiedades y características mecánicas de los aceros, y consisten en calentar y mantener las piezas a una temperatura adecuada, durante un cierto tiempo y enfriarlas después en condiciones convenientes.

Los tratamientos superficiales ayudan a reducir la fatiga del material. Se aplicará un temple superficial para aumentar la dureza superficial y la vida a fatiga de los engranajes, para resistir grandes esfuerzos de choque y flexión. Obtendremos una superficie dura, resistente al desgaste, tenaz.

Esto se lleva a cabo mediante procesos de carburación y nitruración, en los cuales un componente es expuesto a una atmósfera rica en carbono o en nitrógeno a temperaturas elevadas. Una capa superficial rica en carbono o nitrógeno de 1 mm de profundidad, es introducida por difusión atómica a partir de la fase gaseosa. Esta capa es más dura que el material del núcleo. La mejora en las propiedades de fatiga proviene del aumento de dureza dentro de la capa, así como de las tensiones residuales de compresión que se originan en el proceso de cementación y nitruración.

### 3.5.3.9. Resistencia a la picadura

Por último comprobaremos la resistencia de un diente debido al desgaste o picadura, provocada por el contacto directo entre las superficies de los dientes engranados.

Se calcula mediante la expresión:

$$S_c = C_p * \sqrt{\frac{W_t * K_o * K_s * K_m * K_v}{F * D_p * I}}$$

$W_t$ ,  $K_o$ ,  $K_s$ ,  $K_m$ ,  $K_v$  han sido calculados en apartados anteriores,  $D_p$  es el diámetro de paso y  $W_t$  la fuerza tangencial.

$I$  es un factor adimensional que se calcula con la tabla 3.5.5. teniendo en cuenta los dientes del piñón y del engrane.

**TABLA 10-1** Factores de geometría para resistencia  $I$  a la picadura, para engranes helicoidales con ángulo de presión normal  $20^\circ$  y addendum estándar.

A. Ángulo de hélice $\psi = 15.0^\circ$						
Dientes del engrane	Dientes del piñón					
	17	21	26	35	55	
17	0.124					
21	0.139	0.128				
26	0.154	0.143	0.132			
35	0.175	0.165	0.154	0.137		
55	0.204	0.196	0.187	0.171	0.143	
135	0.244	0.241	0.237	0.229	0.209	

B. Ángulo de hélice $\psi = 25.0^\circ$						
Dientes del engrane	Dientes del piñón					
	14	17	21	26	35	55
14	0.123					
17	0.137	0.126				
21	0.152	0.142	0.130			
26	0.167	0.157	0.146	0.134		
35	0.187	0.178	0.168	0.156	0.138	
55	0.213	0.207	0.199	0.189	0.173	0.144
135	0.248	0.247	0.244	0.239	0.230	0.210

**Tabla 3.5.5. Factor de geometría para la resistencia a la picadura,  $I$**

**Fuente:** Diseño de elementos de máquinas, Mott.

No se interpola. Se aproxima la solución a los valores del piñón con 17 dientes, puesto que la diferencia es prácticamente imperceptible. Para el engrane tomamos 35 dientes (los que tiene la cremallera).

$$I = 0,178$$



TABLA 9-9 Coeficiente elástico,  $C_p$ 

Material del piñón	Módulo de elasticidad, $E_p$ , lb/pulg <sup>2</sup> (MPa)	Material y módulo de elasticidad $E_p$ , lb/pulg <sup>2</sup> (MPa), del engrane					
		Acero $30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	Hierro maleable $25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Hierro nodular $24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Hierro colado $22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	Bronce de aluminio $17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )	Bronce de estaño $16 \times 10^6$ ( $1.1 \times 10^5$ )
Acero	$30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	2300 (191)	2180 (181)	2160 (179)	2100 (174)	1950 (162)	1900 (158)
Hierro maleable	$25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2180 (181)	2090 (174)	2070 (172)	2020 (168)	1900 (158)	1850 (154)
Hierro nodular	$24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2160 (179)	2070 (172)	2050 (170)	2000 (166)	1880 (156)	1830 (152)
Hierro colado	$22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	2100 (174)	2020 (168)	2000 (166)	1960 (163)	1850 (154)	1800 (149)
Bronce de aluminio	$17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )	1950 (162)	1900 (158)	1880 (156)	1850 (154)	1750 (145)	1700 (141)
Bronce de estaño	$16 \times 10^6$ ( $1.1 \times 10^5$ )	1900 (158)	1850 (154)	1830 (152)	1800 (149)	1700 (141)	1650 (137)

Tabla 3.5.6. Coeficiente elástico,  $C_p$ 

Fuente: Diseño de elementos de máquinas, Mott.

Tanto el piñón como la cremallera son de acero, por lo tanto,  $C_p = 191$  MPa

Recordar que:  $\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ ;  $\text{MPa} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Sustituimos los valores en la ecuación de la picadura:

$$S_c = C_p * \sqrt{\frac{W_t * K_o * K_s * K_m * K_v}{F * D_p * l}} = 191 * \sqrt{\frac{158,73 * 1,50 * 1,00 * 1,55 * 1,05}{25 * 1,286 * 0,178}} = 1.571,7 \text{ MPa}$$

Por último, se debería comparar estos valores con el valor límite de esfuerzo flexionante y resistencia a la picadura para asegurarnos que no los sobrepasan.

Tendríamos que tener en cuenta numerosos factores como por ejemplo, el material o límite de seguridad. Si no lo cumpliera habría que modificar los datos de partida y volver a recalcular los resultados.

Esta comprobación sale fuera de los límites del proyecto.

**3.5.3.10. Tabla resumen con los resultados obtenidos**

Pasos		Dimensiones del piñón (mm)	
Paso circunferencial	11 mm	Diámetro exterior	70
		Diámetro primitivo	63
Paso normal	9,969 mm	Diámetro interior	54,25
Paso diametral	14	Espesor del diente	5,5
Diámetro de paso	1,286 mm	Addendum	3,5
Paso diametral normal	15,447	Deddendum	4,375
Paso axial	0,492	Altura de diente	7,875
Relación de transmisión y velocidades		Fuerzas (N)	
i	1,50	Fuerza tangencial	158,73
Velocidad del piñón	1500 rpm	Fuerza radial	63,7
Velocidad de la cremallera	3000 rpm	Fuerza axial	74,02
Ángulos		Comprobaciones del piñón (MPa)	
Ángulo de presión normal	20°	Esfuerzo flexionante	504,65
Ángulo de presión transversal	21°52'	Resistencia a la picadura	1571,7
Ángulo de hélice	25°		

**Tabla 3.5.7. Resumen de los resultados**

Fuente: Elaboración propia

**3.5.4. Resistencia a la marcha**

Como último punto de este anexo, comentaremos que resistencias tiene que vencer el motor cuando se circula a velocidad constante.

Resistencia por rozamientos: rozamientos del engrane de los piñones, de los casquillos de fricción, retenes, resistencia a la rodadura de los cojinetes de bolas... que se producen en los elementos de transmisión

Resistencia a la rodadura: el coeficiente de rodadura “r” es un coeficiente similar al de rozamiento que viene definido por la siguiente expresión:

$r = \frac{F}{P}$ , donde F, la resistencia a la rodadura, es la fuerza necesaria para mantener el peso del vehículo en movimiento y P es su peso.

Un valor promedio para “r” es 0,018, con la calzada y neumáticos en buen estado.

Resistencia al aire: es la resistencia que opone el aire sin viento a la marcha del vehículo depende de la velocidad que lleve, su superficie frontal y su forma (cuanto más aerodinámico sea el perfil menor es la resistencia)

El coeficiente “C<sub>x</sub>” que habría que multiplicar a la superficie frontal del coche oscila entre 0,30 y 0,40 para turismos medianos.

Valores del coeficiente de penetración aerodinámica	C <sub>x</sub>
Grandes turismos	0,40-0,50
Turismos medianos y pequeños	0,30-0,40
Vehículos deportivos	0,25-0,30
Vehículos deportivos acondicionados	0,10-0,25

**Tabla 3.5.8. Valores de C<sub>x</sub>**

**Fuente:** Elaboración propia

Resistencia debida a la pendiente: si la pendiente es ascendente la resistencia la vence el motor, si es descendente se suma un factor de aceleración al motor.

Resistencia debida a al viento: Ocurre algo similar a la pendiente, si el viento es frontal el coche opone una resistencia, en cambio, lo acelera cuando es de cola.

Coefficiente de rozamiento: el coeficiente de adherencia o rozamiento “f” se define por la expresión:

$f = \frac{F}{P}$ , donde F es la fuerza para empujar el vehículo con las ruedas frenadas para mantenerlo en movimiento.

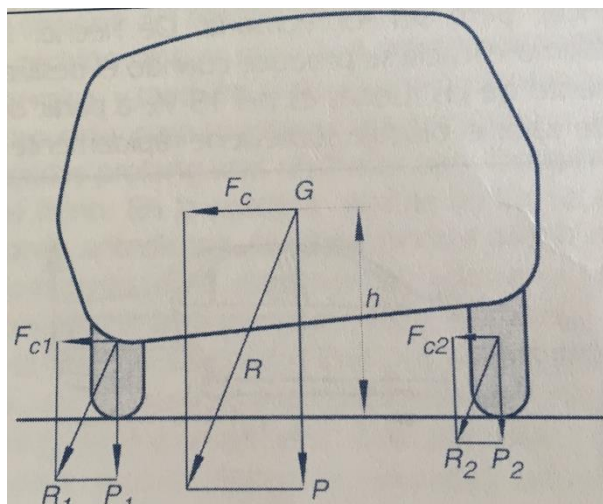
La máxima eficacia de los frenos se consigue cuando la fuerza de frenado es similar a la fuerza de adherencia, sin sobrepasarla.

TIPO DE SUELO	ESTADO	NEUMÁTICOS	
		Nuevos	Usados
Asfalto medio	Helado	0,10	0,10
	Embarrado	0,15	0,10
	Mojado	0,65	0,55
	Seco	0,80	0,80
Asfalto compacto	Mojado	0,65	0,30
	Seco	0,60	0,60
Hormigón de cemento, cemento portland	Mojado	0,70	0,50
	Seco	1,00	1,00

**Tabla 3.5.9. Valores del coeficiente de adherencia en función del tipo de pavimento y estado de los neumáticos**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil

Cuando se da una curva el coeficiente de adherencia se calcula en cada rueda por separado, ya que los pesos son diferentes como se podrá ver en la figura 3.5.9.



**Figura 3.5.9. Efecto de la fuerza centrífuga en las curvas**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil

El coche podría volcar por varios factores como la altura del centro de gravedad o el ancho de los neumáticos, para ello definimos el par de vuelco.

$P_{\text{vuelco}} = F_c * h$ . Cuanto más alto este el centro de gravedad, más posibilidades habrá de volcar.

La fuerza centrífuga en una curva es igual a:

$$F_c = \frac{m * v^2}{r}$$

“m” es la masa del vehículo, “v” la velocidad que lleva y “r” el radio de la curva.



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

**ESTUDIO DE LA DIRECCIÓN  
PROYECTO FIN DE CARRERA**

TÍTULO:

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO  
TRIPULADO

AUTOR:

Irene Madrazo Ramil





# CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE LA DIRECCIÓN

<b>4.1. Introducción a la dirección.....</b>	<b>144</b>
4.1.1. ¿Qué es la dirección? .....	144
4.1.2. Cualidades de la dirección .....	144
4.1.3. Funcionamiento de la dirección.....	146
<b>4.2. Automatización.....</b>	<b>147</b>
4.2.1. Coches automáticos. Introducción .....	147
4.2.2. Automática. Definición.....	148
4.2.3. Momentos clave en la historia de la automatización .....	148
4.2.4. Asistentes de la conducción.....	148
<b>4.3. Elementos de la dirección .....</b>	<b>149</b>
4.3.1. Disposición de los elementos con tren rígido y con suspensión independiente .....	154
4.3.2. Elementos necesarios para la automatización de la dirección .....	155
<b>4.4. Selección de la dirección automática .....</b>	<b>156</b>
4.4.1. Eje directriz .....	156
4.4.2. Configuración automotriz.....	157
4.4.3. Motor .....	158
4.4.4. Embrague .....	160
4.4.5. Caja de cambios .....	161

<b>4.4.6. Sistema de suspensión .....</b>	<b>163</b>
<b>4.4.7. Caja de dirección.....</b>	<b>166</b>
<b>4.4.8. Dirección asistida.....</b>	<b>167</b>
<b>4.4.9. Ruedas .....</b>	<b>167</b>
<b>4.4.10. Frenos .....</b>	<b>168</b>
<b>4.4.10.1. Freno de estacionamiento.....</b>	<b>172</b>
<b>4.4.10.2. Sistema de mando de los frenos .....</b>	<b>172</b>
<b>4.4.10.2.1. Circuito hidráulico.....</b>	<b>172</b>
<b>4.4.10.2.2. Bomba de frenos .....</b>	<b>173</b>
<b>4.4.10.3. Servofrenos.....</b>	<b>175</b>
<b>4.4.10.4. Líquido de frenos .....</b>	<b>175</b>
<b>4.4.10.5. Sistema antibloqueo ABS .....</b>	<b>176</b>
<b>4.4.11. Parte automática.....</b>	<b>176</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE LA DIRECCIÓN

Figura 4.1. Orientación de las ruedas directrices por el giro del volante .....	144
Figura 4.2. Trayectoria seguida por la dirección .....	146
Figura 4.3. Sistema de dirección .....	147
Figura 4.3. Sistema de dirección (2) .....	149
Figura 4.4. Volante.....	150
Figura 4.5. Columna de dirección .....	151
Figura 4.6. Detalle piñón-cremallera de la caja de dirección .....	152
Figura 4.7. Puente delantero .....	153
Figura 4.8. Esquema del puente delantero esquematizado .....	153
Figura 4.9. Eje delantero rígido.....	154
Figura 4.10. Suspensión independiente.....	154
Figura 4.11. Configuración automotriz .....	158
Figura 4.12. Motor policilíndrico en línea .....	160
Figura 4.13. Pedal de embrague .....	161
Figura 4.14. Embrague acoplado (izquierda) y desacoplado (derecha).....	161
Figura 4.15. Embragues planetarios de la caja de cambios automática .....	162
Figura 4.16. Palanca de cambios de un coche automático .....	162
Figura 4.17. Suspensión tren rígido.....	164
Figura 4.18. Suspensión independiente.....	164

<b>Figura 4.19. Barra dividida en tres partes .....</b>	<b>165</b>
<b>Figura 4.20. Esquema dirección por cremallera .....</b>	<b>165</b>
<b>Figura 4.21. Funcionamiento de la caja de dirección piñón-cremallera .....</b>	<b>167</b>
<b>Figura 4.22. Rueda de automóvil .....</b>	<b>168</b>
<b>Figura 4.23. Freno de tambor. Componentes .....</b>	<b>170</b>
<b>Figura 4.24. Freno de disco. Componentes .....</b>	<b>171</b>
<b>Figura 4.25. Freno de disco (2) .....</b>	<b>171</b>
<b>Figura 4.26. Esquema del funcionamiento del circuito hidráulico .....</b>	<b>172</b>
<b>Figura 4.27. Aplicación de la Ley de Pascal al sistema de frenos .....</b>	<b>173</b>
<b>Figura 4.28. Esquema de funcionamiento de la bomba de doble pistón .....</b>	<b>174</b>



Este capítulo del proyecto se va a dedicar al estudio completo de la dirección. En primer lugar, se hará una introducción definiendo este concepto, también se explicarán de forma genérica (ya que en cada modelo varían las partes de la misma) todos los componentes que forman parte de la dirección, su función y posición. Finalmente, se hará una pequeña introducción sobre los sistemas automáticos, sin embargo, el funcionamiento de la dirección automática se explicará en el anexo IV.

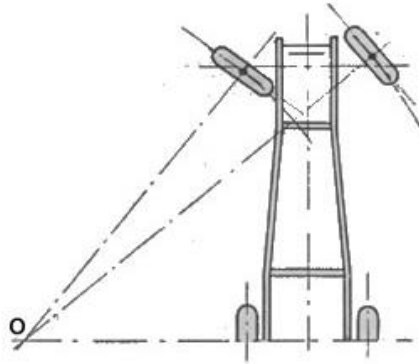


## CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE LA DIRECCIÓN

### 4.1. Introducción a la dirección

#### 4.1.1. ¿Qué es la dirección?

La dirección es el conjunto de elementos cuya misión es la de orientar las ruedas delanteras para que el vehículo tome la trayectoria deseada por el conductor. Convierte el movimiento de giro que el conductor da al volante en una desviación angular de las ruedas. Es la encargada de orientar las ruedas delanteras para que el coche siga la trayectoria prevista. Es un sistema capaz de variar la orientación del vehículo a voluntad del conductor.



**Figura 4.1 Orientación de las ruedas directrices por el giro del volante**

**Fuente:** [www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)

#### 4.1.2. Cualidades de la dirección

La dirección debe reunir las estas cualidades:

- Seguridad: Depende de 3 factores.  
Los materiales de fabricación, el diseño y su fiabilidad y por último, y no menos importante, el mantenimiento posterior.
- Facilidad de manejo: La posición del conductor tiene que ser la adecuada para un suave manejo del volante, sin que le provoque fatiga.



- Suavidad: Un montaje preciso, una desmultiplicación adecuada y un perfecto engrase.

La resistencia que opone el volante a ser deformado respecto a su posición inicial, debe ser uniforme en todo su recorrido.

Un incorrecto inflado de ruedas, o el chasis deformado, reducen su eficacia. También el aumento de peso sobre las ruedas directrices.

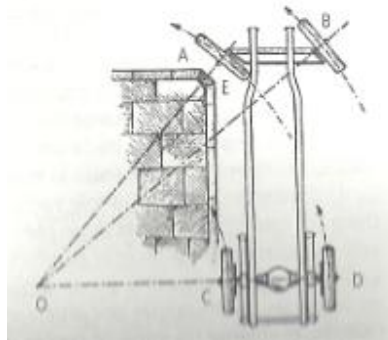
- Comodidad: La calzada nunca es totalmente lisa. Existen irregularidades sobre ella, esto provocará pequeños impactos sobre las ruedas. La dirección debe amortiguar estos golpes para que lleguen al volante lo más amortiguados posibles.
- Precisión: La dirección no debe ser muy dura ni muy suave. Cuanto más sensible sea, cualquier mínimo movimiento del volante afectará a la estabilidad del vehículo, por el contrario, si es muy dura, el conductor se fatigará más y la conducción será cansada.

La corrección de las ruedas debe traducirse en movimiento angular preciso. El empleo de articulaciones elásticas de goma mejora este parámetro.

La presión inadecuada de los neumáticos, o una desmultiplicación inadecuada afectan a este parámetro.

- Estabilidad: El coche tiene que ser capaz de mantener una trayectoria recta sin necesidad de influir en la dirección. Después de efectuar una curva, las ruedas deben volver a la posición recta.

### 4.1.3. Funcionamiento de la dirección



**Figura 4.2** Trayectoria seguida por la dirección

**Fuente:** Manual de automóviles. Arias Paz.

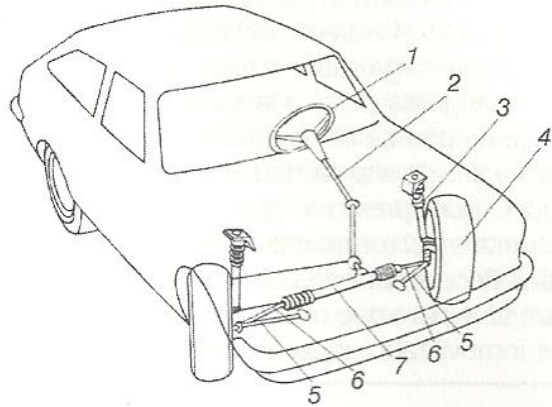
Se fija el eje delantero al bastidor y cada rueda A y B gira sobre dos extremos orientables, llamados manguetas. El radio OA será mayor que el radio OB.

En el eje posterior, las ruedas C y D, se mantiene fijas en su eje, sin girar. Estas permanecen siempre paralelas entre sí.

Parece básico, pero el mecanismo de dirección tiene que llevar ambas ruedas debidamente orientadas sobre sus trayectorias curvas.

El recorrido de las ruedas exteriores (B y D) será mayor que el de las ruedas interiores (A y C), a mayor radio, mayor recorrido. Esto es posible, gracias al diferencial, que permiten que las ruedas giren a velocidades diferentes sin patinamiento.

Este es el esquema básico de la dirección. Como veremos más adelante existirán diferentes tipos y configuraciones de cada uno de sus elementos.



**Figura 1.**

*Sistema de dirección. 1) Volante; 2) Árbol de la dirección; 3) Muelle de suspensión y amortiguador; 4) Rueda; 5) Brazo de suspensión; 6) Brazo de acoplamiento; 7) Caja de la dirección.*

### **Figura 4.3 Sistema de dirección**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

El volante está unido a la columna de la dirección, dividida en varias secciones unidas por articulaciones que suelen ser tipo “cardán” (para que en caso de accidente, el volante no impacte contra el tórax del conductor). La columna termina en la caja de dirección, que transforma el movimiento rotativo (de la columna) en movimiento longitudinal de un brazo de mando, situado a la salida de la caja. Ello provoca una desmultiplicación en el giro de las ruedas, es decir, la relación entre el ángulo girado por el volante y el ángulo de orientación correspondiente en las ruedas.

## **4.2. Automatización**

### **4.2.1. Coches automáticos. Introducción**

El objeto de mi proyecto consiste en la automatización de la dirección, pero no podía comenzar este punto sin haber definido y expuesto los conceptos básicos referidos a la dirección de un vehículo. El término autómatas significa moverse por sí sólo, por lo tanto un vehículo con la dirección automatizada no va a necesitar ninguna persona física para manejarlo y desplazarlo de un punto a otro.

Son los vehículos de guiado automático, también conocidos como AGV (Automatic Guided Vehicle)

A día de hoy, no hay ningún coche en el mercado que sea completamente automático y no necesite conductor.

#### **4.2.2. Automática. Definición**

La automática es la ciencia que trata los métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la ejecución de una tarea física o mental previamente programada.

#### **4.2.3. Momentos clave en la historia de la automatización**

Estos son algunos las épocas que han marcado un antes y un después en todo lo referido a la automatización y el control industrial:

- Los griegos y árabes deseaban poder controlar de forma precisa la evolución del tiempo.
- La revolución industrial en Europa.
- El comienzo de las comunicaciones de masas y la Primera y Segunda Guerra Mundial.
- Comienzo de la era espacial y del computador.

#### **4.2.4. Asistentes de la conducción**

Lo que sí es una realidad y se encuentra presente son los asistentes a la conducción (véase en el anexo II). Realizan ciertas tareas de forma automática sin necesidad de intervención, como una parada de emergencia cuando existe riesgo de colisión o facilitan ayuda para aparcar (moviendo el volante).

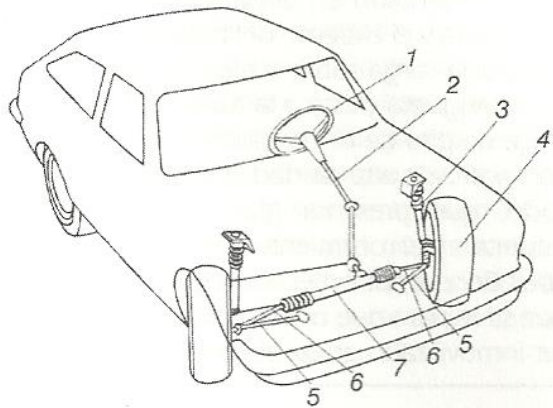
Los coches automáticos son sólo prototipos (como el coche de google), algunos de ellos se pueden manejar por control remoto y otros están programados para realizar

determinados movimientos, como aparcar en un espacio concreto sin necesidad de intervención (ni volante, ni pedales).

### 4.3. Elementos de la dirección

Como ya se mencionó antes, se entiende por dirección a todos los elementos que contribuyen a colocar las ruedas directrices según la acción del conductor.

Estos son los elementos básicos, pero dependiendo del tipo de dirección que se implante, la complejidad y los tipos de elementos serán diferentes.



**Figura 1.**

*Sistema de dirección. 1) Volante; 2) Árbol de la dirección; 3) Muelle de suspensión y amortiguador; 4) Rueda; 5) Brazo de suspensión; 6) Brazo de acoplamiento; 7) Caja de la dirección.*

#### **Figura 4.3 (2) Sistema de dirección**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

Volante: Constituye el mando de la dirección. Permite al conductor orientar las ruedas. Su diseño varía según las marcas y debe ser el adecuado para facilitar una conducción cómoda.

Es el único elemento de la dirección que tiene contacto con el piloto, salvo que sea un coche automatizado como se explicará en los siguientes puntos.

El diseño del volante debe cumplir los siguientes objetivos: contener el airbag del conductor, debe ser estético y debe presentar un tacto agradable. El recubrimiento del aro

también debe proporcionar aislamiento y no ser resbaladizo. Aunque no parezca importante los radios del volante deben permitir la visualización de todas las indicaciones del salpicadero.

El volante se encuentra situado justo en frente del conductor. El volante se une a la columna de dirección.

Además de la función básica del volante, éste cuenta con otras funciones como contener el airbag en caso de colisión, algunos de ellos también cuentan con un control de sonido o control de velocidad.



**Figura 4.4 Volante**

**Fuente:** [www.arpem.com](http://www.arpem.com)

Columna de dirección: Aloja en su interior al árbol de dirección. La columna es la encargada de transmitir, el movimiento del volante a la caja de dirección.

Suele haber dos configuraciones de la misma. Puede estar dividida en varias secciones tipo “cardan”, la cual permite unir dos ejes no colineales. Su objetivo es transmitir el movimiento de rotación de un eje al otro a pesar de la no colinealidad. Por otro lado, también puede estar realizada con dos secciones tubulares que entran una dentro de otra, “tuve in tube”.

Es muy importante para la sensibilidad de la dirección que el conductor no perciba las deformaciones del pavimento en la columna de dirección. Para ello, cuenta con elementos filtrantes, como resortes, en las uniones de las barras.

Como medida de seguridad la columna de dirección está preparada para plegarse ante una colisión, para evitar que ésta se desplace hacia el tórax del conductor. Además puede realizar

otras funciones secundarias como disipar la energía en caso de colisión frontal o ajustar la altura y la longitud para el asiento del piloto.

Se encuentra situada entre el volante y la caja de dirección.

Como ya se mencionó anteriormente, existen diferentes configuraciones de la misma.



**Figura 4.5 Columna de dirección**

**Fuente:** [www.repuestoscamiones.es](http://www.repuestoscamiones.es)

Caja de dirección: Se encarga de transformar el movimiento rotativo de la columna de dirección en movimiento longitudinal de un brazo de mando (situado a la salida de la caja) que a través de la biela y la palanca de ataque se transmitirá a una de las ruedas delanteras, y desde ésta, por los brazos y la barra de acoplamiento, a otra. Ello provoca una desmultiplicación de las ruedas, que minimiza el esfuerzo del conductor.

La desmultiplicación que se produce varía según el tipo de vehículo y según tenga incorporada dirección asistida o no. Por ejemplo los valores de un automóvil con dirección asistida pueden oscilar entre 20/1 a 25/1. Una desmultiplicación de 20/1 supone que en una vuelta completa de volante (360°), las ruedas giren 18° ( $360/20=18$ ), 20 veces menos y también que la fuerza que llega a la caja de dirección desde el volante se multiplique por 20 en las ruedas.

Además la caja de dirección proporciona la cualidad de dirección irreversible. Los movimientos del volante se transmiten a las ruedas con facilidad, pero las oscilaciones de las ruedas no tienen repercusión alguna en el volante.

La caja también tiene que trabajar sin ningún tipo de holgura, para evitar recorridos muertos en el volante.

Existen varias configuraciones posibles en la caja de dirección que son las siguientes: de tornillo sin fin y sector dentado, de tornillo y tuerca deslizante, sistema Ross de palanca y leva, de tornillo sin fin y rodillo, de tornillo y tuerca con bolas circulantes, de tornillo y tuerca con bolas circulantes y sector dentado y por último de cremallera. Sin embargo, las cajas de dirección más comunes y utilizadas en el tiempo han sido la de tornillo sin fin (en la actualidad apenas se fabrican) y cremallera.

La caja va fijada al bastidor mediante tornillos.



**Figura 4.6 Detalle piñon-cremallera de la caja de dirección**

**Fuente:** [www.aprendemostecnologia.org](http://www.aprendemostecnologia.org)

Forman parte del mando de la dirección el volante, la columna de dirección y la caja de dirección. También se puede añadir el brazo de mando, la biela y la palanca de ataque.

Brazo de mando: Situado a la salida de la caja de engranajes, manda el movimiento de ésta a los restantes elementos de la dirección.

Biela de dirección: Transmite el movimiento a la palanca de ataque.

Palanca de ataque: Está unida solidariamente con el brazo de acoplamiento.

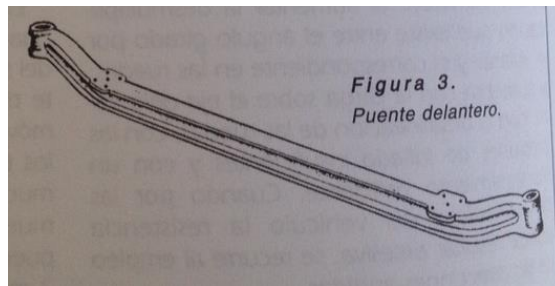
Brazo de acoplamiento: Está unida a la palanca de ataque y transmite los movimientos que recibe a la barra de acoplamiento y a las manguetas.

Barra de acoplamiento: Se desplaza horizontalmente hacia la derecha o hacia la izquierda, transmitiendo el movimiento a las ruedas. Si la barra es única se trata de un eje rígido, en cambio, con la suspensión delantera por ruedas independientes, la barra se divide en dos o tres tramos.



Estos dos elementos que se describirán a continuación son propios de distintas configuraciones:

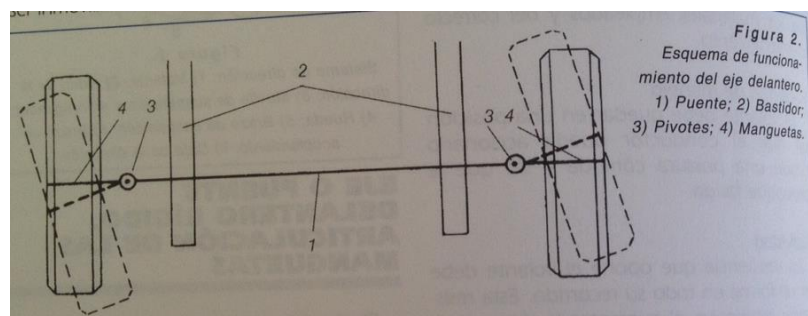
Eje delantero: Se utiliza en la dirección con tren rígido. Prácticamente sólo se emplea en algunos vehículo todoterreno con algunas variantes y en vehículos pesados. Sustenta parte de los elementos de dirección. Es una robusta barra de acero forjado en sección en forma de doble T que le confiere resistencia.



**Figura 4.7 Puente delantero**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

Pivotes: Están unidos al eje delantero y por medio de ellos se articulan las manguetas. Se fijan por medio de un agujero en cada extremo en el eje delantero.



**Figura 4.8 Esquema del puente delantero esquematizado.**

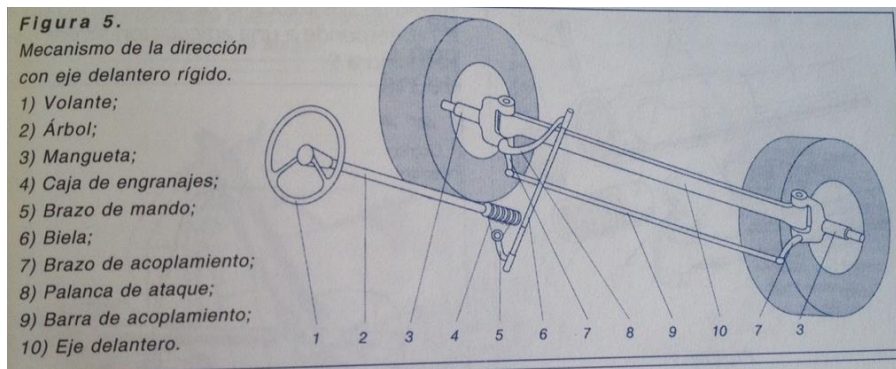
**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

Brazos de suspensión: Presente en la suspensión independiente donde no existe el eje delantero. Las manguetas se articulan en los brazos de suspensión.

Manguetas: Elementos orientables sobre los cuales giran libremente las ruedas. Su función es sujetar las ruedas.

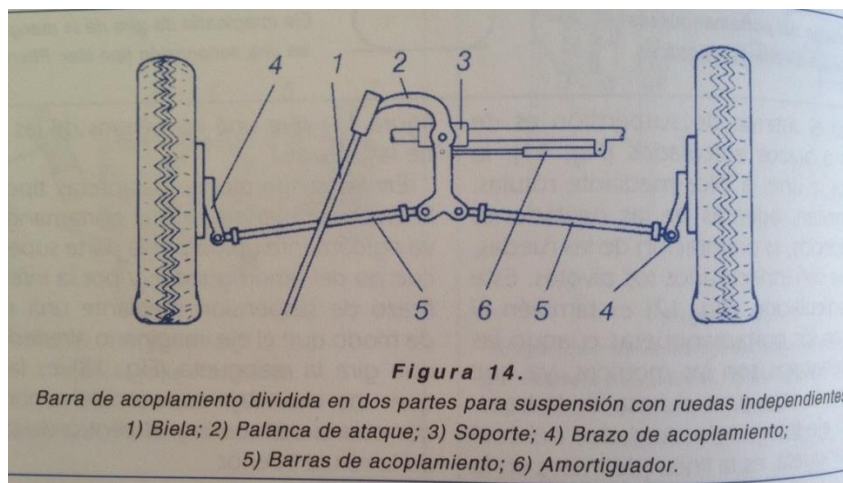
Rótulas: Sirven para unir varios elementos de la dirección y hacen posible que, aunque estén unidos, se muevan en el sentido conveniente. La palanca de ataque se enlaza con los brazos de acoplamiento, por medio de las barras de acoplamiento, por la interposición de rótulas.

#### 4.3.1. Disposición de los elementos con tren rígido y con suspensión independiente



**Figura 4.9 Eje delantero rígido**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.



### Figura 4.10 Suspensión independiente

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

#### 4.3.2. Elementos necesarios para la automatización de la dirección

En el punto 4.3. se han mencionado todos los elementos de la dirección. Sin embargo, si queremos que un coche funcione de manera automática vamos a tener que implementar una serie de elementos para que sea posible.

- Un autómata programable industrial: Quizá sea el más importante. También conocido como PLC, (Programmable Logic Controller) es un equipo electrónico que contiene una memoria programable por un usuario con la ayuda de un lenguaje adaptado, para el almacenamiento interno de las instrucciones que definen las funciones de un automatismo (lógica secuencial y combinatoria, temporización...) y destinado a comandar, medir y controlar por medio de módulos de entrada y salida, diferentes clases de máquinas y procesos. Controla en tiempo real, procesos secuenciales en un ambiente industrial.

Puede ser cualquier equipo electrónico que realice esta función, desde un simple reloj programado para ello, como un ordenador, o un autómata como el S7-200.

También necesita ser programado con un lenguaje que entienda el autómata. La elección del hardware y el lenguaje de programación quedan fuera del estudio de este trabajo.

Para que un controlador industrial pueda interactuar con su entorno, se necesitan sensores y actuadores.

- Sensores: Es un dispositivo capaz de convertir el valor de una magnitud física o química, llamadas variables de instrumentación, en una señal eléctrica codificada, ya sea en forma analógica o digital.

Necesitaremos sistemas lógicos que trabajen con señales continuas en el tiempo, y con amplitudes que varíen de forma continua en un rango determinado, como puede ser la velocidad o la posición.

Las variables de instrumentación pueden ser distancia, aceleración fuerza...

- Actuadores: Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control.

Ambos se definirán más en profundidad, explicando los diferentes tipos que hay en el anexo III, sensores y actuadores.

- Controlador: Indica cómo debe controlar y comunicarse con un dispositivo en particular. Varía dependiendo en que caso estemos.
- Sistema: la dirección de un vehículo no tripulado

Por último añadir que el volante es el elemento de la dirección exterior que no va a necesitar una persona para gobernar la dirección.

#### **4.4. Selección de la dirección**

El resultado no es único, existen diferentes configuraciones de las partes, elementos y disposiciones de todos ellos, pero este ha sido el resultado elegido siempre atendiendo a unos criterios y razones que se exponen a continuación:

##### **4.4.1. Eje directriz**

Normalmente en la mayoría de los vehículos, el eje delantero es el eje directriz, como será en nuestro caso. Sin embargo, existen vehículos dotados de cuatro ruedas directrices, suelen ser los grandes vehículos industriales como camiones o grúas.

La dirección será pensada para un turismo.

#### **4.4.2. Configuración automotriz (tracción + motor)**

El motor como tal, no forma parte del sistema de dirección, sin embargo, es el suministrador de energía que mediante los conjuntos de transmisión, hace llegar su giro a las ruedas para el desplazamiento del vehículo. Dicho de otro modo, el eje motriz del coche es el eje donde vaya colocado el motor. Muchas veces el eje directriz coincide con el motriz.

El motor irá colocado en la parte delantera del vehículo. En la actualidad, excepto algún modelo en particular como Ferrari o Porsche, ya no se fabrican coches con el motor en la parte trasera.

En un principio se barajó la idea de elegir tracción total, por el excelente control que proporciona al vehículo, la mejor adherencia de las ruedas al asfalto y el buen reparto de par a cada eje en función de la adherencia. Sin embargo, la tracción en las cuatro ruedas está pensada sobre todo para coches todoterrenos o vehículos de gama alta y cuenta con una serie de inconvenientes. Estos son el aumento de consumo del vehículo, su precio elevado y sobre todo su mayor peso.

La tracción trasera se descartó porque está orientada a vehículos de competición como los Fórmula 1 y camiones por su tonelaje.

Las ventajas de la tracción delantera son la liberación de espacio constructivo en el capó, que puede hacerse más corto en beneficio del habitáculo, (sólo motores transversales) el aumento de espacio en el habitáculo y la reducción del peso al vehículo, además proporciona mejor control sobre situaciones adversas como la lluvia.

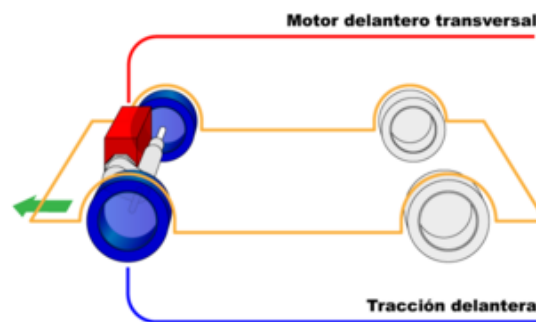
Y la última pregunta que uno debe hacerse, es orientación del motor. Existen 3 posibilidades: motor delantero transversal, motor delantero longitudinal, motor delantero longitudinal central (prácticamente está en desuso).

La orientación del motor se considera respecto al sentido de circulación del vehículo.

El motor transversal permite ahorrar bastante espacio en favor de los ocupantes y esta disposición es la más habitual hoy en día en los vehículos con tracción y motor delanteros. Esto permite que el habitáculo se encuentre en una posición más baja y cómoda al acceso, y también permite que el piso no se vea afectado por el espacio que ocupa el cardán de transmisión. La orientación transversal también se usa en automóviles con motor y tracción

trasera aunque menos habitualmente, ya que la ganancia de espacio no es tan importante en un automóvil de esas características (que suele ser deportivo).

Por todos estos motivos, se decantó por un vehículo con el motor situado en la parte delantera, tracción delantera, (sólo transmite par motor a las ruedas delanteras) todos los componentes del tren motor (motor y transmisión) se ubican transversalmente por delante del eje delantero. Esta configuración permite espacios para pasajeros más amplios particularmente en vehículos compactos. Además, al llevar el motor y la caja de cambios sobre el eje delantero, una concentración de peso en las ruedas motrices favorece la adherencia del neumático.



**Figura 4.11 Configuración automotriz**

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

#### 4.4.3. Motor

Un motor es cualquier máquina que con una fuente de energía produce movimiento y hace llegar su giro a las ruedas para el desplazamiento del vehículo.

El tipo de combustión puede ser interna o externa, dependiendo de donde se queme el combustible. El motor de los automóviles es de combustión interna, porque la combustión para la producción de energía calorífica se lleva a cabo en el mismo sistema que transforma dicha energía en energía mecánica y a consecuencia de las altas temperaturas producidas en el interior del motor, se hace necesario un circuito de refrigeración.

Por el combustible utilizado los motores pueden ser de explosión o gasolina y motores diésel o de gasóleo, ambos son motores alternativos. La decisión de elegir un motor diésel o gasolina, varía mucho según la utilidad y los kilómetros que se le vaya a dar al coche, por ejemplo, el diésel es más barato, pero el motor también tiene mayor coste de reparación por ser más complejo y si se van a efectuar recorridos cortos (inferiores a 15 km, en los que el

aceite no llega a calentarse), la diferencia de consumo entre gasolina y diésel será prácticamente la misma. La elección va a ser gasolina, aunque este factor no afecte al coche automatizado, salvo que no se aplicara suficiente fuerza en el acelerador en una pendiente pronunciada.

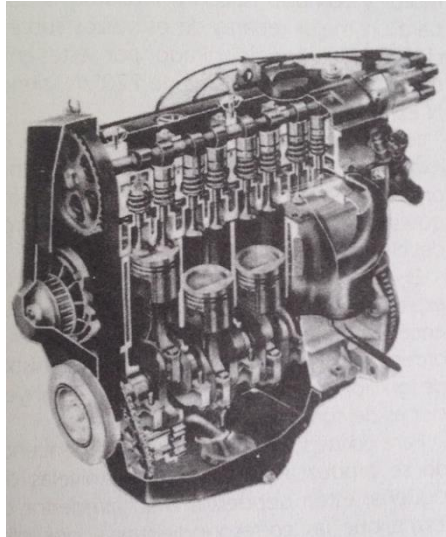
En un motor de gasolina, la mezcla de combustible y aire se efectúa fuera del motor, en un dispositivo llamado carburador, después la mezcla entra en la cámara de combustión donde se comprime y es encendida por una chispa eléctrica producida por una bujía.

Ambos motores varían según su ciclo utilizado, pudiendo ser de dos o cuatro tiempos. La mayoría tienen un motor de cuatro tiempos, es decir, el ciclo completo se realiza en dos vueltas del motor.

El último factor a tener en cuenta es el número de cilindros que tenga el motor, puede ser monocilíndrico o policilíndrico (más de un cilindro). El trabajo que desarrolla el motor proviene de la cantidad de combustible que se queme, éste se quema por la combinación con el aire, cuanta mayor cantidad de mezcla arda mayor será el trabajo producido por el motor; para conseguir un aumento de trabajo se puede hacer el cilindro más grande, lo que provocaría un aumento considerable del volumen del motor o bien añadir más de un cilindro.

La mayoría de los automóviles que se fabrican son policilíndricos, ya que la aplicación de los policilíndricos se reduce a motores de pequeñas potencias. El motor mayor empleado es el de cuatro cilindros.

Según la disposición de los cilindros los motores se clasifican en: motores de línea, motores en V y motores con cilindros horizontales opuestos, todas ellas son independientes del tipo de combustible utilizado. Los primeros, tienen sus cilindros uno a continuación del otro, dispuestos verticalmente, esta es la disposición utilizada para motores de cuatro, cinco y seis cilindros.



**Figura 4.12 Motor policilíndrico en línea**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

#### **4.4.4. Embrague**

En cualquier motor de combustión hay que interponer entre el motor y la transmisión un embrague, cuya misión es acoplarlos y separarlos. Está colocado en la prolongación del cigüeñal, intercalado entre el motor y la caja de velocidades, que separa o acopla según esté pisado o no el pedal de embrague (figura 4.13.) y permite al conductor controlar la transmisión del par motor desde el motor hacia las ruedas. Cuando se acciona el pedal, queda interrumpida la transmisión de movimiento entre el motor y la caja de cambios. Sólo tiene sentido hablar de embrague, con una caja de cambios manual, en cambio, este modelo, estará provisto de una caja de cambios automática, mucho más sencillo para uno automatizado.

Hay dos posiciones del embrague como se puede ver en la figura 4.14, acoplado y desacoplado.

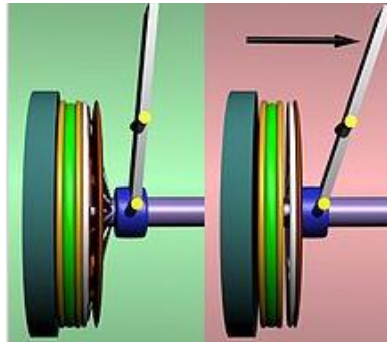
- En posición acoplado transmite el par motor suministrado por el motor.
- En posición desacoplado se interrumpe la transmisión. En un automóvil, las ruedas giran libres o están detenidas, y el motor puede continuar girando sin transmitir este par de giro a las ruedas.





**Figura 4.13 Pedal del embrague**

**Fuente:** [www.ulpgc.es](http://www.ulpgc.es)



**Figura 4.14 Embrague acoplado (izquierda) y desacoplado (derecha)**

**Fuente:** [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

#### **4.4.5. Caja de cambios**

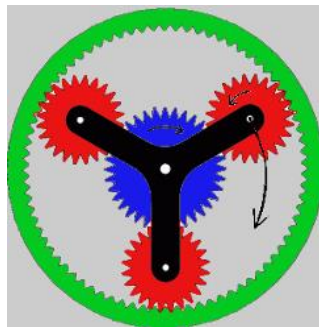
Una transmisión automática puede encargarse por sí misma de cambiar las marchas a medida que el vehículo se mueve, sin el que el conductor tenga que hacerlo de forma manual cada vez que acelere o frene. La adaptación del par motor al par resistente se hace sin la intervención del conductor.

El cambio de una relación a otra se produce en función tanto de la velocidad del vehículo como del régimen de giro del motor, por lo que el conductor no necesita el pedal de embrague y la palanca de cambios de será diferente a la manual. El simple hecho de pisar el

pedal del acelerador provoca el cambio de relación conforme el motor varía de régimen de giro.

Con la velocidad que el vehículo lleve y el pedal de aceleración frenado, un dispositivo de mando hidráulico selecciona la marcha conveniente.

La multiplicación del par en las cajas de cambios automáticas se obtiene por un convertidor de par y unos trenes de engranajes epicicloidales (engranajes planetarios), accionados por un circuito hidráulico.



**Figura 4.15 Embrages planetarios de la caja de cambios automática**

**Fuente:** [www.sabelotodo.org/automovil](http://www.sabelotodo.org/automovil)



**Figura 4.16 Palanca de cambios de un coche automático**

**Fuente:** [www.youtube.com](http://www.youtube.com)

La caja de cambios automática es imprescindible para que el coche pueda cambiar de marcha por sí mismo cuando sea necesario, por ejemplo, para el uso de algunos asistentes

para la automatización de la dirección, como el control de cruceo adaptativo-cooperativo (anexo IV).

La transmisión automática tiene muchos componentes, pero el más importante es la bomba de aceite, ya que suministra la presión y el caudal de aceite que viaja a través de la transmisión para lubricar los engranes y otros componentes. Está ubicada en el cuerpo de la caja donde encastra el convertidor de par.

#### **4.4.6. Sistema de suspensión**

Existen 2 tipos de suspensiones:

- Trasera
- Delantera

Las suspensiones se pueden clasificar en tres grupos:

- Suspensiones rígidas: la suspensión de una rueda va unida a la otra mediante un eje rígido, se transmiten las vibraciones de una rueda a la otra.
- Suspensiones semirrígidas: similares a las suspensiones rígidas pero con menor peso no suspendido.
- Suspensiones independientes: en esta disposición las ruedas tienen una suspensión independiente para cada una de ellas. Por lo tanto no se transmiten las oscilaciones de unas ruedas a otras.

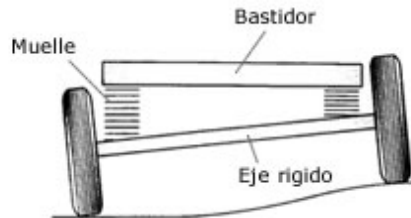
Dentro de la suspensión independiente tenemos de dos barras o de tres barras y distintos tipos.

La suspensión es el conjunto de elementos elásticos que se interponen entre el suelo y las ruedas, entre las ruedas y el bastidor o la carrocería y entre los pasajeros y sus asientos.

Según el tipo de elementos empleados y la forma de montajes de los mismos, existen varios sistemas de suspensión, todos ellos basados en el mismo principio de funcionamiento. Constan de un sistema elástico, amortiguación y barra estabilizadora independientes para cada uno de los ejes del vehículo.

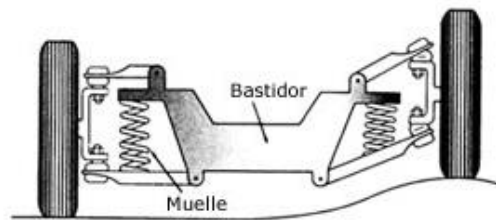
La suspensión debe ser capaz de proporcionar comodidad a los pasajeros, protección a los conjuntos mecánicos y estabilidad en la conducción, reduciéndolos efectos de las

solicitaciones verticales, transversales y longitudinales causadas por las desigualdades del terreno. Las pequeñas irregularidades de la carretera son absorbidas por la elasticidad de los neumáticos sin llegar a afectar a la suspensión.



**Figura 4.17 Suspensión tren rígido**

**Fuente:** [www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)



**Figura 4.18 Suspensión independiente**

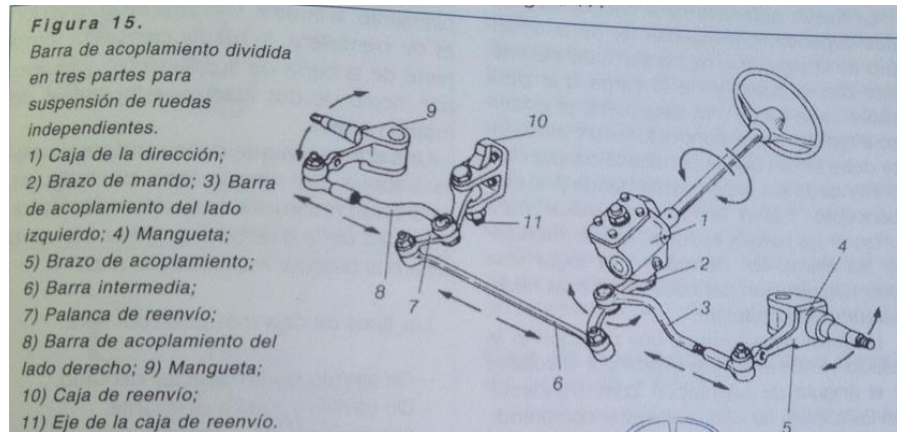
**Fuente:** [www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)

Lo normal en el diseño de un vehículo moderno es que cuente con suspensión independiente para cada rueda delantera.

El sistema de eje rígido, está compuesto de un eje de una sola pieza, en cuyos extremos se montaban las ruedas. Como consecuencia de ello, todo el movimiento que afecta a una rueda se transmite a la otra del mismo eje. En la figura 4.17. podemos ver como al elevarse una rueda, se inclina el eje y las ruedas. Esta inclinación produce un bamboleo en la carrocería, la tendencia al resbalamiento lateral y hace insegura la dirección.

Este montaje es muy resistente y más económico de fabricar, pero tiene la desventaja de ser poco cómodo para los pasajeros y una menor seguridad.

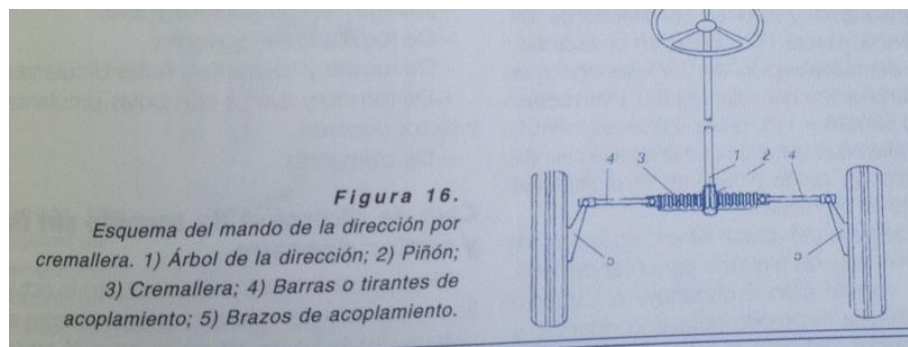
En cambio, con la suspensión por ruedas independientes cada una de ellas puede oscilar sin afectar a la otra como se observa en la figura 4.18. La barra de acoplamiento puede estar dividida en dos o tres partes, esta última se usaba mucho en los años cincuenta y sesenta, y podemos ver sus componentes en la figura 4.19.(no hay ni biela ni palanca de ataque).



**Figura 4.19 Barra dividida en tres partes**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

En la figura 4.20 vemos un esquema de dirección con configuración en cremallera y sus elementos, a continuación explicaremos el funcionamiento.



**Figura 4.20 Esquema dirección por cremallera**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

La columna de la dirección termina en un piñón de dientes oblicuos, que engrana con la cremallera y se desplaza sobre la barra de acoplamiento, esto hace que al girar el volante, el piñón desplace la cremallera longitudinalmente tirando y empujando a la vez de los brazos de acoplamiento a través de las barras o tirantes. La barra de acoplamiento es regulable en

longitud por medio de dos bieletas que roscan en ella y que por medio de rótulas, van unidas a los brazos de acoplamiento, que hacen girar las manguetas sobre las que giran las ruedas.

Por último, la suspensión será trasera, ya que la suspensión delantera no es muy apropiada para la tracción delantera, ya que la colocación del muelle y el amortiguador dificultan el paso de las transmisiones.

#### **4.4.7. Caja de dirección**

Principalmente hay dos tipos de caja de dirección que son tornillo sin fin y cremallera. Pero existen otras configuraciones nombradas en el punto 4.3.

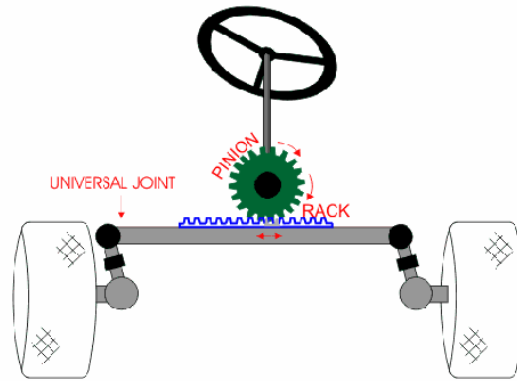
En la actualidad, las de tornillo sin fin están en desuso, la mayoría de los automóviles modernos instalan el sistema piñón cremallera, que será la seleccionada.

Ésta es muy sencilla por su mecanismo desmultiplicador, su simplicidad de montaje al eliminar gran parte de los elementos de la dirección y es económica.

Como va unida directamente a los brazos de acoplamiento (asume la función de barra de acoplamiento), no son necesarios el brazo de mando, la biela, la palanca de ataque ni la barra de acoplamiento. Ello simplifica mucho su configuración. Además, tiene un alto rendimiento mecánico.

Este mecanismo consiste en que un piñón mueve el eje dentado, comúnmente conocido como cremallera, que es un engranaje lineal que encaja perfectamente con el piñón, convirtiendo el movimiento circular en movimiento lineal a lo largo del eje transversal del coche, de lado a lado (figura 4.21.).

Debido a su precisión en el desplazamiento angular de las ruedas se utiliza mucho en vehículos de turismo, sobre todo en los de motor y tracción delantera, ya que disminuye notablemente los esfuerzos en el volante. Proporciona gran suavidad en los giros y tiene rapidez de recuperación, haciendo que la dirección sea muy estable y segura.



**Figura 4.21 Funcionamiento de la caja de dirección piñon-cremallera**

**Fuente:** [www.wordpress.com](http://www.wordpress.com)

#### 4.4.8. Dirección asistida

Dirección asistida electromecánica.

Mirar anexo I, puntos 3.1.5. y 3.1.6.1.

#### 4.4.9. Ruedas

La rueda es el elemento característico para desplazarse ,el automóvil consta de cuatro, dos están situadas en el eje delantero y las otras dos en el trasero, todas ellas se montan sobre los extremos de las manguetas, sobre los cuales giran. Cumplen las siguientes funciones:

- Sustentación: soportan el peso del vehículo.
- Motricidad: A través de las ruedas motrices (las delanteras) transmiten el movimiento y su reacción genera el desplazamiento del vehículo.
- Dirección: debido a la orientación de las ruedas directrices se consigue el guiado del vehículo.
- Confort y estabilidad: complemento al sistema de suspensión.
- Frenado: transmiten los esfuerzos de frenado.

Constan de las siguientes partes:

- Cubo: se ajusta al eje o la mangueta.
- Llanta: componente metálico de la rueda, sobre ella se monta el neumático.
- Disco: Une la llanta y el cubo.

Los tres tipos básicos de ruedas son de acero templado (mayor uso), de aleación ligera y radios.

El neumático es la parte de la rueda que está en contacto con el suelo y aloja en su interior el volumen de aire necesario para una correcta adherencia y fricción con el pavimento, están formadas por caucho.



**Figura 4.22 Rueda de automóvil**

**Fuente:** [www.arpem.com](http://www.arpem.com)

#### **4.4.10. Frenos**

Podemos frenar de dos maneras, una de ellas consiste simplemente en dejar de pisar el pedal del acelerador, es lo que se llama el freno-motor o con el empleo del freno para conseguir una parada completa del coche.

El sistema de frenado debe poder lograr detener el vehículo en el menor tiempo posible, es decir, que la distancia de frenado sea la menor posible. Cuanto mayor sea esta distancia, peores serán los frenos.



VELOCIDAD EN KILOMETROS POR HORA	DISTANCIA DE PARADA EN METROS		
	BUENOS FRENOS	VALORES TOLERABLES	FRENOS MALOS
20	2	3,1	4
30	4,5	6,9	9
40	8	12,3	16
50	12,5	19	25
60	18	27,7	36
70	24,5	37,6	49
80	32	49,3	64
90	40,5	62,5	81
100	50	77,3	100

**Tabla 4.1. Tabla comparativa de la eficacia de los frenos**

**Fuente:** Manual de automóviles. Arias Paz.

La absorción de la energía cinética del vehículo para frenarlo se realiza por fricción entre las superficies de dos piezas, una de ellas gira con la rueda, la otra es fija y se encuentra muy cerca de la primera, el coeficiente de adherencia es muy elevado. Los frenos transforman esa energía cinética y en energía calorífica que se disipa por radiación a la atmósfera.

Deben cumplir varios requisitos:

- Eficacia: cuanto menor sea el esfuerzo que se produzca sobre el pedal, el tiempo y la distancia de frenado, mayor eficacia tendrá el freno.
- Estabilidad: el vehículo debe poder frenar sin derrapar, desviarse ni provocar reacciones en el volante.
- Comodidad: el freno debe actuar de manera progresiva, sin ruidos ni temblores.

La eficacia de un freno es la relación entre el esfuerzo aplicado sobre el pedal y la fuerza de frenado obtenida, la máxima eficacia se consigue cuando la fuerza de frenado es igual al peso del vehículo.

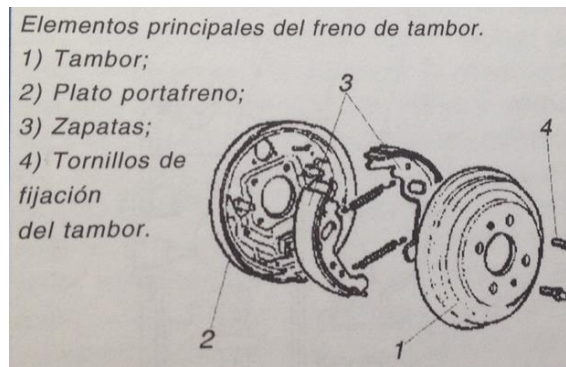
Existen varios tipos de frenos, pero en los automóviles se utilizan el de disco y el de freno de tambor.

- Freno de tambor: la fricción se causa por un par de zapatas que presionan contra la superficie interior de un tambor giratorio, el cual está conectado al eje o la rueda.

Este tipo de freno fue durante muchos años el único empleado, pero en la década de los sesenta y setenta se dejó de fabricar para el eje delantero, debido a que las zapatas son un elemento que hay que ajustar regularmente y los frenos de tambor con zapatas internas tienen poca capacidad de disipar el calor por fricción, por lo que tienden a sobrecalentarse.

A día de hoy muchos coches siguen funcionando con este sistema pero sólo se monta en las ruedas traseras, utilizando en las delanteras y muchas veces en las traseras frenos de disco.

Como ventajas hay que señalar que son más baratos y protegen contra agua, barro, o nieve.

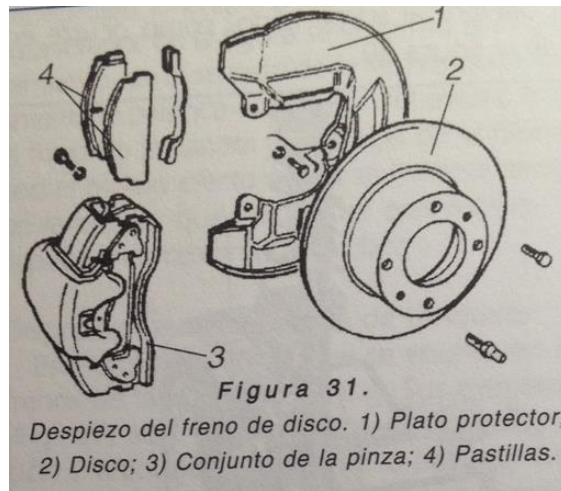


**Figura 4.23 Freno de tambor. Componentes**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

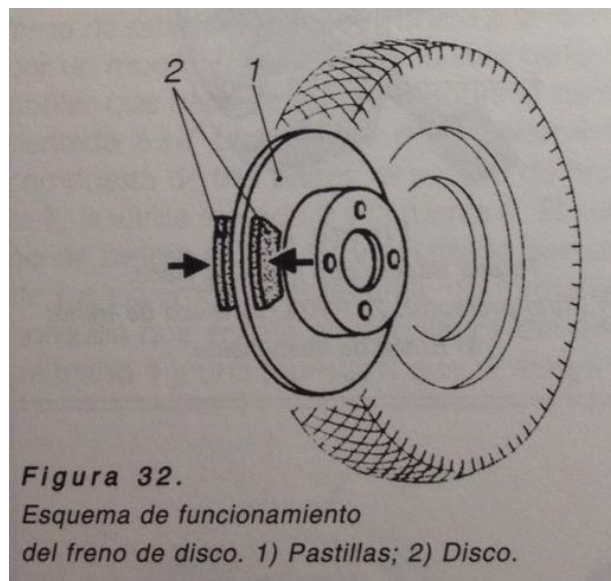
- Freno de disco: el disco solidario de la rueda, es la pieza giratoria del freno, cuando las pastillas son presionadas contra él, se produce el rozamiento que provoca la frenada. Las pastillas y el mando hidráulico están alojados en el interior de la pinza, que es la parte fija del freno.

Este freno se monta en casi toda la totalidad de las ruedas delanteras y en muchas traseras.



**Figura 4.24 Freno de disco. Componentes**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.



**Figura 4.25 Freno de disco (2)**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

Todo vehículo necesita llevar acoplados dos sistemas de frenado independientes; uno de ellos, el circuito principal de servicio debe ser capaz de detenerlo en movimiento a voluntad del conductor (del que hemos estado hablando) y otro circuito, auxiliar, que se emplea para bloquear las ruedas cuando el vehículo está estacionado, es el freno de mano.

#### 4.4.10.1. Freno de estacionamiento

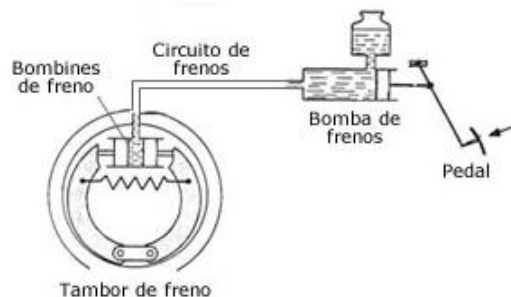
Es accionado mecánicamente por una palanca de mando manual y actúa generalmente sobre las ruedas traseras aunque también puede hacerlo sobre las delanteras. Utiliza las mismas zapatas o pastillas que el freno de pie, pero con el mando independiente; su misión es inmovilizar al vehículo pero también puede utilizarse como freno de emergencia.

#### 4.4.10.2. Sistemas de mando de los frenos

La transmisión del esfuerzo del conductor a los frenos puede realizarse a través de circuitos mecánicos, hidráulicos o neumáticos.

Con el mando mecánico se requiere una organización de palancas y cables para llevar la fuerza hasta cada rueda, de forma que no interfiera con el giro a un lado y a otro de las ruedas delanteras; por otro lado, el freno hidráulico es el utilizado casi universalmente por la ventaja de que los tubos pueden tener las curvas y codos que sean necesarios, son flexibles y se adaptan con facilidad a las curvas de las ruedas directrices y a las oscilaciones de la suspensión y por último, el mando neumático se utiliza para vehículos grandes que requieran una gran fuerza de frenado, este sistema utiliza aire comprimido.

##### 4.4.10.2.1. Circuito hidráulico



**Figura 4.26. Esquema del funcionamiento del circuito hidráulico**

**Fuente:** [www.aficionadosalamecanica.net](http://www.aficionadosalamecanica.net)

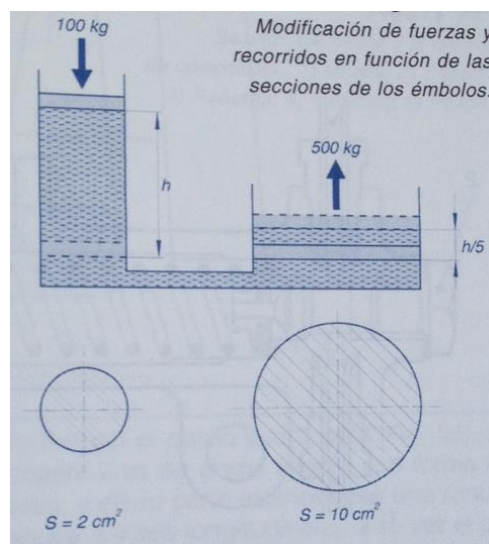
En la figura 4.26. se ve la disposición elemental de un sistema hidráulico de frenos, constituido por un cilindro maestro que genera una presión sobre el líquido que se transmite a través del circuito hacia un cilindro receptor, que mueve mediante un pistón unas zapatas que son empujadas contra el tambor.

Cuando el conductor pisa el pedal de freno, se empuja el émbolo del cilindro maestro, el cual comprime y desplaza el líquido por la canalización hasta el cilindro de rueda, en donde se produce el desplazamiento de sus émbolos para aplicar las zapatas contra el tambor. Todo esfuerzo posterior del conductor sobre el pedal de freno se traduce en un aumento de presión en el circuito hidráulico, que aplica a las zapatas contra el tambor con mayor fuerza.

#### 4.4.10.2.2. Bomba de frenos

La presión del líquido necesaria para el funcionamiento de los bombines o cilindros de la rueda la genera una bomba de émbolo (llamada también cilindro principal o cilindro maestro) accionada por el conductor, la bomba puede ser de pistón simple o de doble pistón.

El funcionamiento del circuito hidráulico está basado en el principio de Pascal: “la presión ejercida sobre un punto del fluido que llena un recipiente hermético se transmite en su seno con la misma intensidad en todos los sentidos”



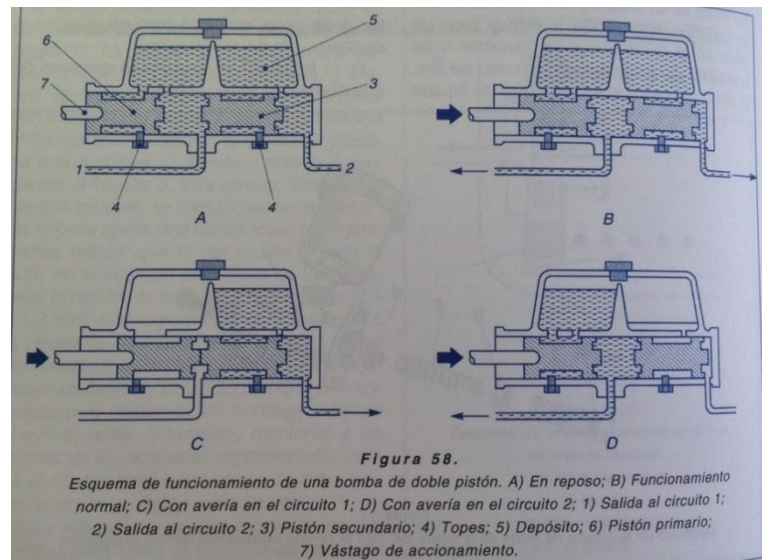
**Figura 4.27** Aplicación de la Ley de Pascal al sistema de frenos

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

De igual manera funciona el sistema de frenos. La figura 4.27 hace referencia a una bomba de frenos de pistón simple, para explicar su funcionamiento debido a su sencillez.

$F = P \times A \rightarrow$  como para mantener el equilibrio la presión a ambos lados tiene que ser igual, pero las áreas son diferentes, también lo serán las fuerzas resultantes. Con una fuerza determinada aplicada en el pedal de freno, la fuerza que obtendremos para frenar las ruedas del coche serán mucho mayores.

$V = A \times H \rightarrow$  La transmisión de desplazamiento también nos dice que el volumen emitido ( $V_1$ ) por el primer pistón es igual que el volumen que ingresa en segundo pistón, como el líquido de frenos es incompresible, todo el volumen que se desplace de un lado tiene que ir al otro.



**Figura 4.28 Esquema de funcionamiento de la bomba de doble pistón**

**Fuente:** Manual CEAC del automóvil.

El esquema de la figura 4.28. se explica de la siguiente manera: en el interior del cilindro hay dos pistones, el primario corresponde al número 6 y el secundario al 3; la cámara de compresión para el circuito de la izquierda (1), está formada entre los dos pistones y la cámara de la derecha (2) entre el pistón secundario y el fondo del cilindro. Cada una de las dos cámaras está alimentada por un depósito de líquido independiente; sin embargo, la respuesta de ambos pistones es simultánea.

En el detalle A, la bomba está parada. En el B, se ha pisado el freno, el pistón primario presiona al líquido para que salga del circuito (1), esa presión empuja al pistón secundario para que haga lo mismo con el circuito (2).

En caso de avería, por ejemplo del pistón primario, éste no crea presión, pero sí empuja al pistón secundario para que cree presión en el circuito (2), ocurriría lo mismo si la avería fuera del otro pistón.

La ventaja de las instalaciones con una bomba de frenos de doble pistón o “tándem”, es que actúan separadamente en los frenos delanteros y traseros o bien uno para la rueda delantera y trasera de un lado y al contrario (disposición en X); en caso de avería de uno de los dos circuitos el otro sigue funcionando, y aunque la eficacia del freno sea menor se puede evitar el riesgo de sufrir un accidente.

#### **4.4.10.3. Servofrenos**

Los servofrenos ayudan al conductor para que el esfuerzo que realicen sobre el pedal de freno no tenga que ser demasiado elevado, al igual que ocurría con la dirección asistida para que la dirección fuera más suave y no costara demasiado mover el volante a bajas velocidades. Pueden ser hidráulicos, eléctricos y de aire comprimido.

Es un dispositivo accionado por el vacío del colector de admisión que se encuentra situado entre el pedal de freno y la bomba, suma su fuerza a la del conductor para obtener elevadas presiones en el circuito. En caso de fallo del sistema de frenos se aplica igualmente a la bomba, aunque la frenada sea menos efectiva. El servofreno será hidráulico al igual que el sistema de mando.

#### **4.4.10.4. Líquido de frenos**

El líquido de frenos es un líquido hidráulico que hace posible la transmisión de la fuerza ejercida sobre el pedal de freno a los cilindros de freno en las ruedas.

Debe reunir unas características como tener un punto de ebullición alto, ser resistente a la descomposición con la alta temperatura, experimentar pocas variaciones de viscosidad, absorber poca agua (poco higroscópico), ser lubricante, tener bajo punto de congelación y no atacar ni a las gomas ni a los metales.

El líquido de frenos se compone normalmente de derivados de poliglicol.

Los tipos de líquidos de frenos son el DOT 3, DOT 4, DOT 5... cuando mayor sea el número más alta será la temperatura de ebullición que pueda alcanzar y se tardará más tiempo en tener que cambiarlo.

El DOT 4, es un líquido de mayores condiciones que el DOT 3, es utilizado en sistemas de frenos que utilicen asistencia electrónica como el ABS, por lo tanto para un vehículo no tripulado será una excelente opción. Su temperatura de ebullición se fija por el departamento de transportes en 230 °C.

#### **4.4.10.5. Sistema antibloqueo ABS**

Se introducirá el sistema antibloqueo de ruedas ABS. La finalidad es mantener el manejo y la estabilidad del vehículo, controlar la dirección durante el frenado y reducir la distancia de parada en cualquier situación de la carretera; una rueda bloqueada prácticamente no transmite fuerza lateral y si se bloquearan las dos ruedas directrices el vehículo quedaría ingobernable. Con el sistema ABS evitaremos el bloqueo de las ruedas en cualquier situación, con el asfalto seco o mojado, con placas de hielo, barro, manchas de aceite.

#### **4.4.11. Parte automática**

Detallada en el anexo IV.





**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

**PRESUPUESTO**

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**TÍTULO:**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO  
TRIPULADO**

**AUTOR:**

Irene Madrazo Ramil

## **CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO**

<b>5.1. Introducción.....</b>	<b>177</b>
<b>5.2. Material .....</b>	<b>178</b>
<b>5.3. Opiniones y datos .....</b>	<b>179</b>
<b>5.4. Presupuesto de ejecución material .....</b>	<b>179</b>
<b>5.5. Presupuesto total .....</b>	<b>181</b>







## CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO

### 5.1. Introducción

En este capítulo se hará una estimación aproximada del presupuesto, que no se acercará a la realidad, aunque tampoco se pretende. Esta es una de las razones por la cual se encuentra este capítulo en último lugar en el orden de prioridad de los documentos (punto 2.9. de la memoria).

Todavía no hay un coste estimado para un coche automatizado. Los prototipos que se han ido probando, tienen un precio fuera de mercado. Muchas marcas han señalado que en el 2020 comenzará su producción en serie.

Se prevé que con el tiempo se reduzca el precio de los modelos que incorporan diferentes asistentes de la conducción, y así ocurriría algo similar desde que aparezcan a la venta modelos automatizados al 100%. Lo mismo ocurre con las nuevas tecnologías que salen al mercado; su precio se reduce con el paso de los años, al igual que un modelo de móvil nuevo.

Es muy difícil, por no decir imposible, intuir el precio de un vehículo que nunca se ha fabricado, y que no lo podemos comparar con nada similar que se venda en estos momentos.

Además, también habría que tener en cuenta todo el gasto inicial que supone la investigación de esta tecnología emergente. Por ejemplo, el prototipo Lutz Pathfinder, probado en Londres, supuso una inversión de 19 millones de libras y la consultora del Boston Consulting Group calcula más de 870 millones de euros para que los fabricantes puedan llevar la autonomía completa al mercado.

El precio final de un modelo de coche engloba todas sus funciones y asistentes que incorpore, aunque algunos paquetes sean opcionales.

En punto 5.3. se proporcionará una lista de los precios de los elementos necesarios para que un coche salido de fábrica pueda obtener la condición de no tripulado.

Incluiremos todos y cada uno de los componentes que hagan falta para automatizar el vehículo, todos aquellos que habría que añadir a un automóvil, las piezas que no formen parte del vehículo en sí.

El precio del motor de acople y desacople se calculará mediante una media aritmética del punto 5.3., (opinión de los países sobre los precios para la automatización). Se puede considerar como un elemento imprescindible para ello, que todavía no se comercializa en el mercado. Resulta imposible saber el precio de este elemento necesario para automatizar un automóvil, por ello, supondremos esta burda estimación.

## 5.2. Material

- **Coche:** Que incluya un sistema de dirección electromecánica y control electrónico de estabilidad ESP.
- **Software de control:** Queda fuera del ámbito de estudio del proyecto.
- **Un sistema de acople y desacople para poder cambiar la dirección automatizada a manual siempre que se quiera.**
- **Mapas de alta precisión actualizados continuamente.**
- **Rayo láser LIDAR.**
- **Radares de ondas milimétricas de varios alcances:** Largo alcance frontal, medio alcance frontal y medio alcance trasero. Se incluirán en las distintas cámaras.
- **Cámara estereoscópica delantera.**
- **Cámara trasera.**
- **Cámara situada en el salpicadero.**
- **Cámara delantera de infrarrojos.**
- **Dos cámaras de alta definición colocadas en el parabrisas.**
- **Cuatro sensores de ultrasonidos situados en la parte delantera del parachoques y otros cuatro en la trasera:** Delantero izquierdo, delantero central izquierdo, delantero central derecho y delantero derecho.
- **Un sensor de ultrasonidos en la parte lateral del parachoques, tanto en la parte delantera como en la trasera:** Cuatro sensores laterales y un total de doce sensores de ultrasonidos repartidos por el conjunto del parachoques delantero y trasero.



### 5.3. Opiniones y datos

Google dispone de una serie de coches con conducción autónoma asociada con Toyota, el cual costaría 115.00 dólares lo que equivale a unos 112.00 euros.

Por otro lado, en el estudio de movilidad de Continental se preguntó a los encuestados sobre el **precio** medio para la circulación automatizada por autopista y estos fueron los resultados:

- Los alemanes señalaron un precio de 2.900 € (10%).
- Les seguía China con 2.600 € (14%).
- Japón con 2.300 € (14%).
- Por último lugar Estados Unidos con 1.100 € (5%).

El % corresponde al gasto medio de adquisición de un vehículo en cada uno de los países.

Según Christian Senger, Jefe de Desarrollo Avanzado de Electrónica de Vehículos en Continental, "las expectativas de los conductores de todo el mundo respecto a los precios se sitúan, en general, a un nivel realista. Además, van a poder utilizar funciones de conducción parcialmente automatizadas antes de lo que esperan".

### 5.4. Presupuesto de ejecución material

A continuación se detallará en una tabla las unidades y precio de los elementos necesarios para automatizar la dirección de un automóvil.

Necesitaremos además, un automóvil con dirección electromecánica y un software de control específico.

Elementos	Unidades	Descripción	Precio por unidad (€)	Subtotal (€)
Mapa de alta precisión	2	Ipad pro. El contenido de los mapas será de TomTom	899	1.798
LIDAR	1	LIDAR Velodyne HDL-32E de alta definición	7.528	7.528
Sensor de ultrasonidos	12	Sensor de distancia por ultrasonidos Srf04	86,6	1.039,2
Cámara estereoscópica delantera	2	2 cámaras gemelas utilizadas en los Subaru japoneses	1.411,5	2.823
Cámara trasera	1	Cámara trasera externa 720*480 P Dash Cam	37,77	37,77
Cámara de infrarrojos	1	Cámara de infrarrojos con visión nocturna	84,75	84,75
Cámara integrada en el salpicadero	1	SS-30 micro cámara tubular 450 TVL	235,95	235,95
Cámara HD	2	Cámara CMOS ultracompacta, industrial y a color	299,90	599,8
Motor de acople y desacople	1	Cambia la conducción con conductor a no tripulada	2.225	2.225

Presupuesto de ejecución material: **16.371,47 €**

El presupuesto de ejecución material asciende a la cantidad de 16.371,47 €, dieciséis mil, trescientos setenta y uno con cuarenta y siete.

### Tabla 5.1. PEM

**Fuente:** Elaboración propia

Todos los precios que aparecen en la tabla 5.1. son precios sin rebajar, ya que en algunos de los artículos buscados se aplicó algún porcentaje de descuento.

Los precios que se encontraron en dólares se pasaron a euros con la siguiente relación de conversión: 1 dólar estadounidense= 0,941 euros.

## 5.5. Presupuesto total

Al presupuesto de ejecución material calculado hay que añadirle:

- **Gastos Generales (GG):** 16% (su valor se encuentra entre el 13% y 20%).
- **Beneficio Industrial (BI):** 7% (oscila de 6% a 7%).
- **IGIC:** 5% (PEM+GG+BI)

	Porcentaje (%)	Subtotal (€)
GG	16	2.619,43
BI	7	1.146

Presupuesto de ejecución material + gastos generales + beneficio industrial:

**20.136,9€**

### Tabla 5.2. Presupuesto PEM+GG+BI

**Fuente:** Elaboración propia

IGIC (5%)	1.006,84 €
<b>Total</b>	<b>21.143,74 €</b>

**Tabla 5.3. Presupuesto total**

**Fuente:** Elaboración propia

El presente presupuesto asciende a la cantidad de **21.143,74 €**, **veintiún mil, ciento cuarenta y tres con setenta y cuatro.**

Tenerife, **Marzo 2016**

Firmado: Irene Madrazo Ramil



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
CIVIL E INDUSTRIAL**

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

PLANOS

**PROYECTO FIN DE CARRERA**

TÍTULO:

AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO  
TRIPULADO

AUTOR:

Irene Madrazo Ramil

# CAPÍTULO 6. PLANOS

## 6.1. Elementos necesarios para la automatización

6.1.1. Mapas de alta precisión .....	1
6.1.2. LIDAR .....	1
6.1.3. Sensor de ultrasonidos .....	1
6.1.4. Cámara estereoscópica.....	1
6.1.5. Cámara de infrarrojos .....	1
6.1.6. Cámara en el salpicadero.....	1
6.1.7. Cámara trasera.....	1
6.1.8. Cámara HD.....	1
6.1.8.1. Cámara .....	1
6.1.8.2. Soporte.....	1

## 6.2. Colocación de los elementos necesarios para la automatización

6.2.1. Mapas de alta precisión .....	1
6.2.2. LIDAR .....	1
6.2.3. Sensor de ultrasonidos .....	1
6.2.4. Cámara estereoscópica.....	1
6.2.5. Cámara de infrarrojos .....	1
6.2.6. Cámara en el salpicadero.....	1
6.2.7. Cámara trasera.....	1
6.2.8. Cámara HD.....	1

### **6.3. Elementos del sistema de dirección**

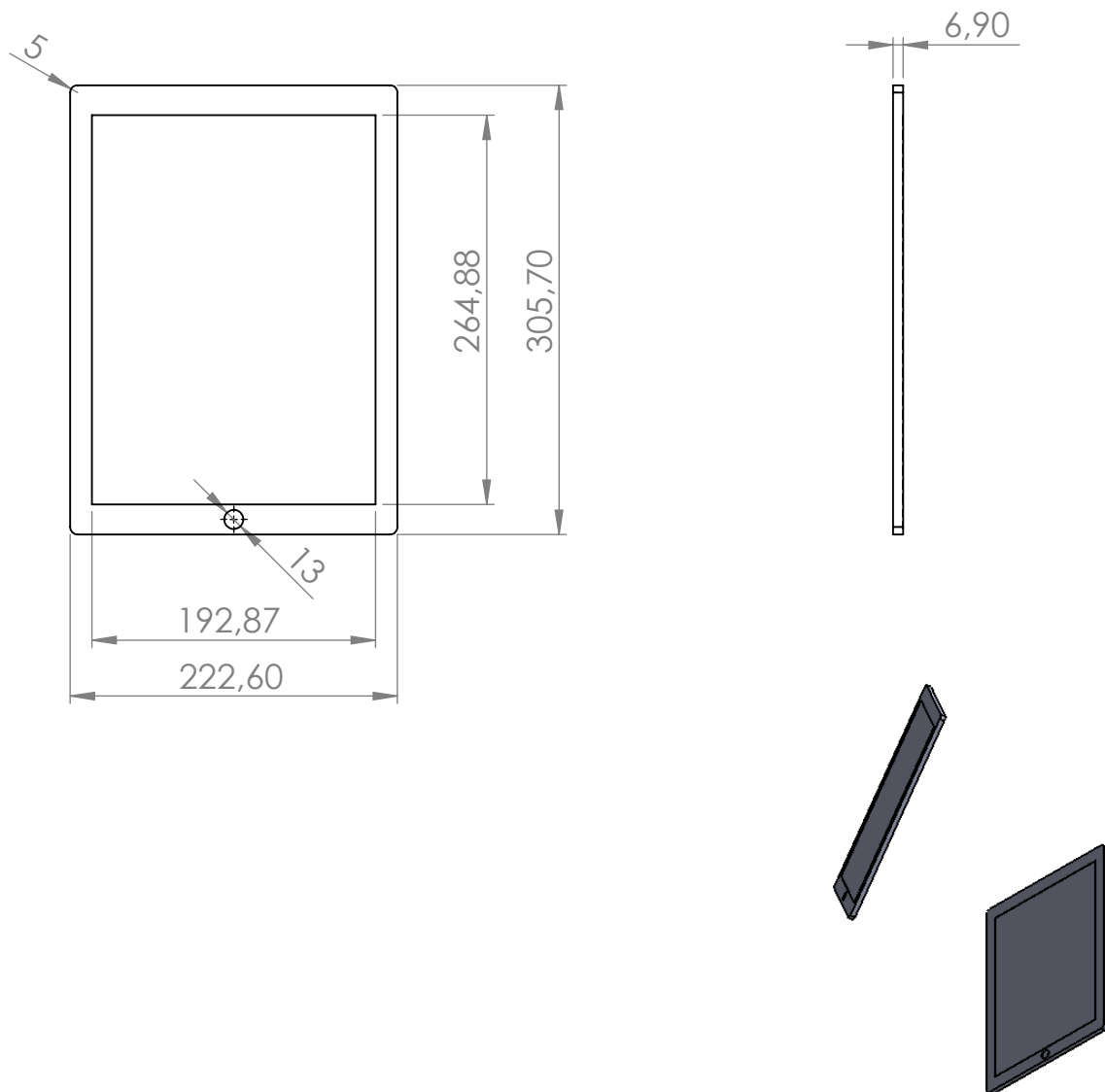
<b>6.3.1. Volante .....</b>	<b>1</b>
<b>6.3.2. Columna de dirección.....</b>	<b>1</b>
<b>6.3.3. Sistema cardán .....</b>	<b>1</b>
<b>6.3.4. Pasador que une la columna de dirección y el piñón.....</b>	<b>1</b>
<b>6.3.5. Piñón .....</b>	<b>1</b>
<b>6.3.6. Cremallera .....</b>	<b>1</b>
<b>6.3.7. Pasador que une la cremallera y la barra de acoplamiento.....</b>	<b>1</b>
<b>6.3.8. Barra de acoplamiento .....</b>	<b>1</b>
<b>6.3.9. Pivote-mangueta.....</b>	<b>1</b>
<b>6.3.10. Rótula.....</b>	<b>1</b>
<b>6.3.11. Rueda .....</b>	<b>1</b>


### **6.4. Acople y desacople**

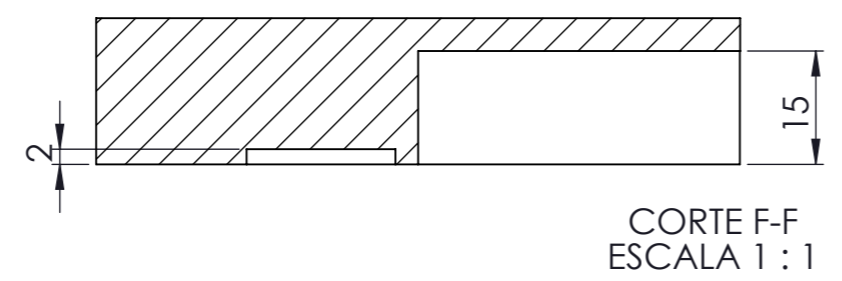
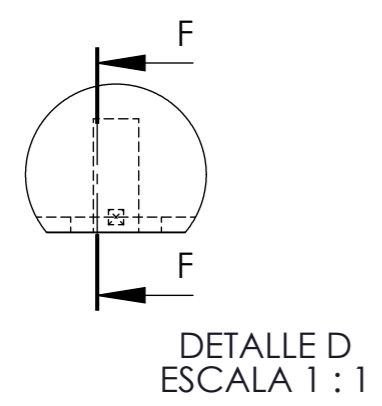
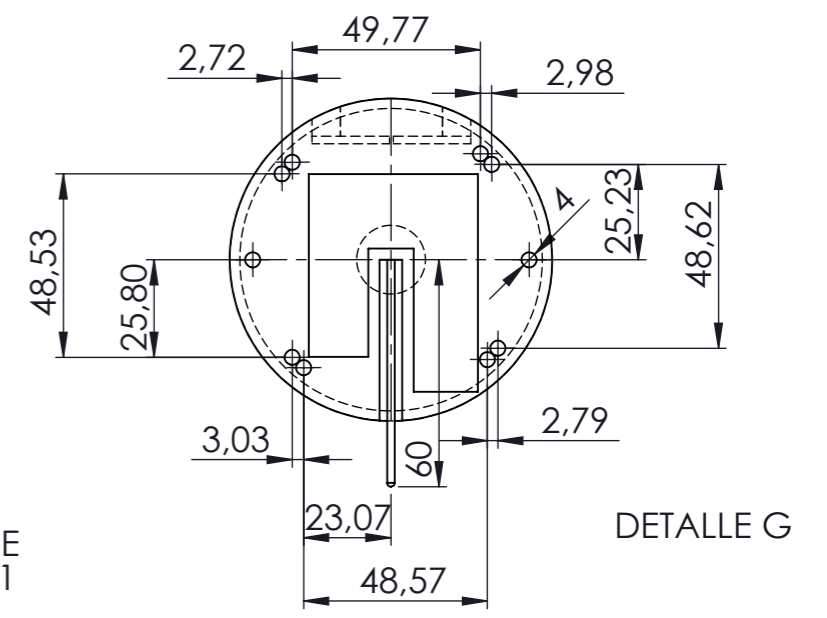
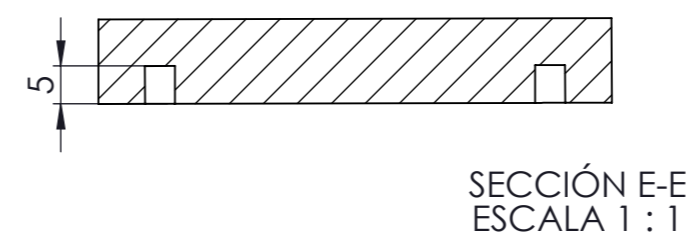
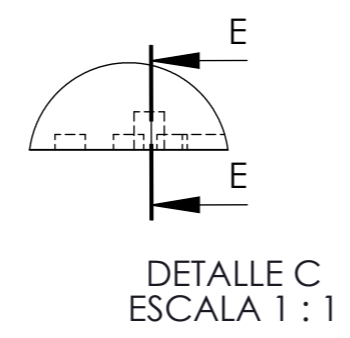
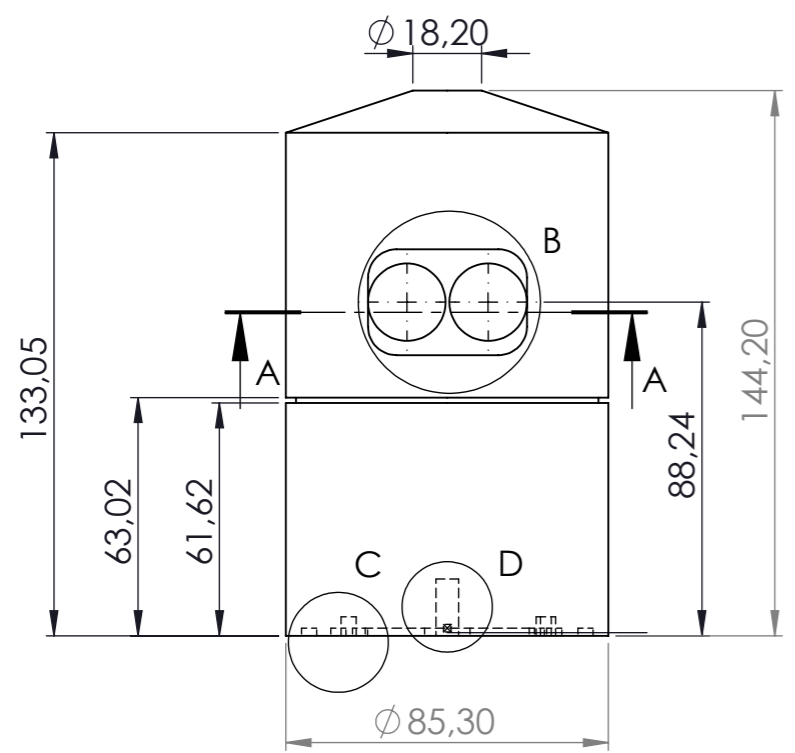
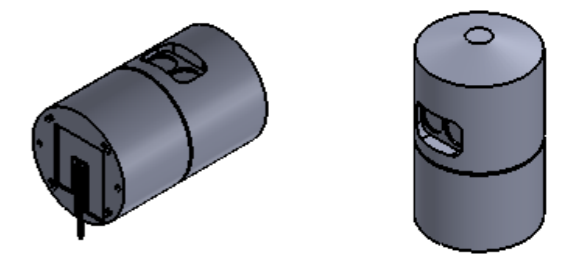
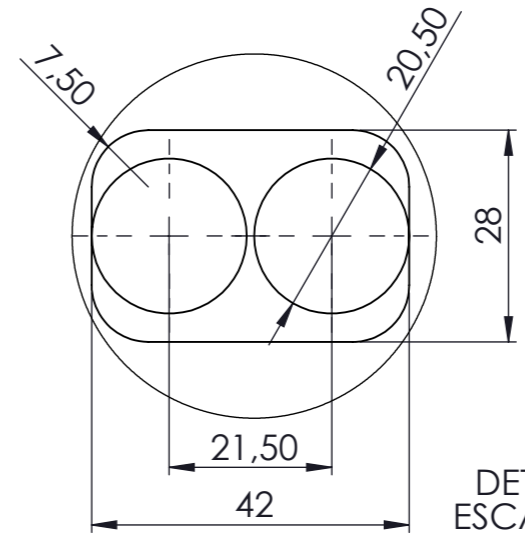
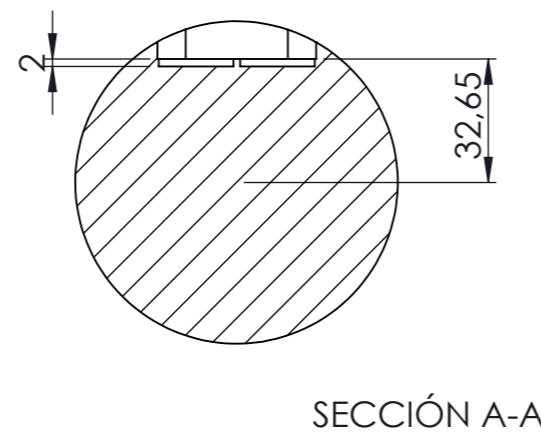
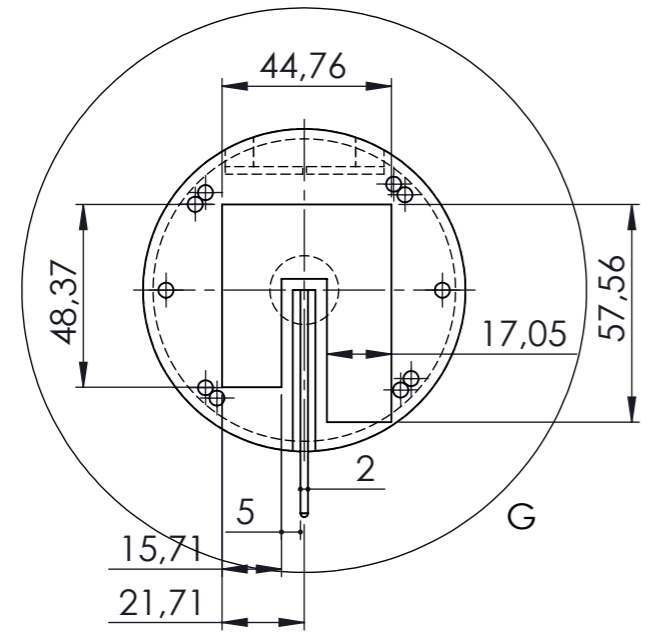
<b>6.4.1. Eje del motor .....</b>	<b>1</b>
<b>6.4.2. Arandela de sujeción .....</b>	<b>1</b>
<b>6.4.3. Piñón Bénix .....</b>	<b>1</b>
<b>6.4.4. Volante motor.....</b>	<b>1</b>
<b>6.4.5. Armazón .....</b>	<b>1</b>
<b>6.4.6. Bobina de campo .....</b>	<b>1</b>
<b>6.4.7. Conmutador .....</b>	<b>1</b>
<b>6.4.8. Escobillas .....</b>	<b>1</b>



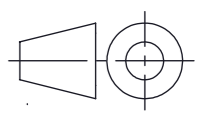
<b>6.4.9. Relé .....</b>	<b>1</b>
<b>6.4.10. Batería .....</b>	<b>1</b>
<b>6.5. Ensamble</b>	
<b>6.5.1. Soporte y cámara HD .....</b>	<b>1</b>
<b>6.5.2. Rueda y otras partes .....</b>	<b>1</b>
<b>6.5.3. Sistema de dirección .....</b>	<b>1</b>
<b>6.5.4. Acople y desacople .....</b>	<b>1</b>
<b>6.5.5. Acople y desacople integrado dentro del sistema de dirección .....</b>	<b>1</b>

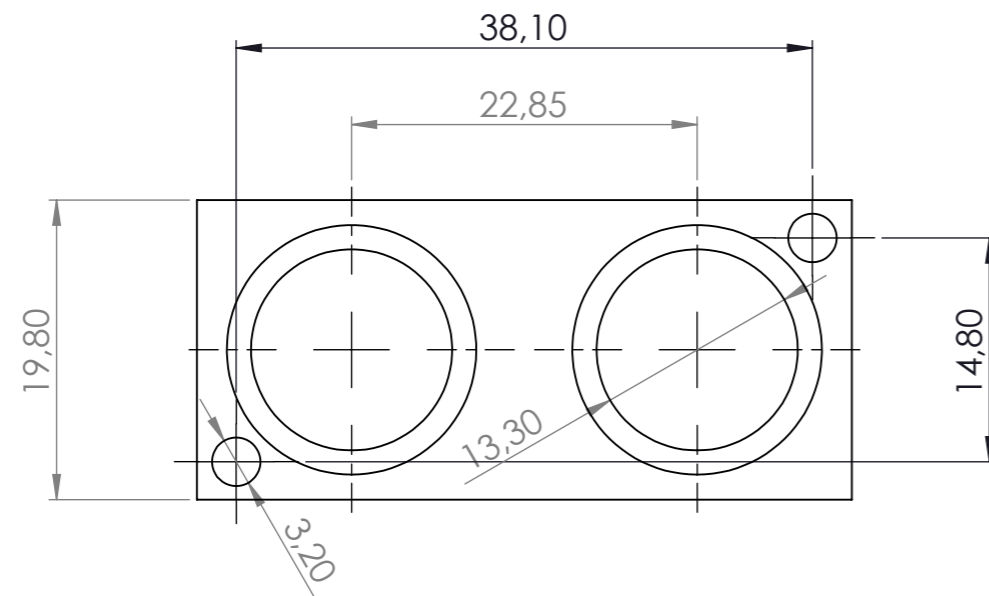
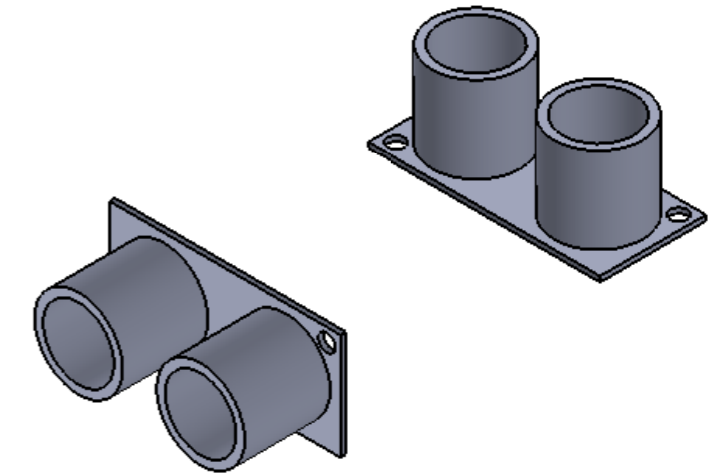
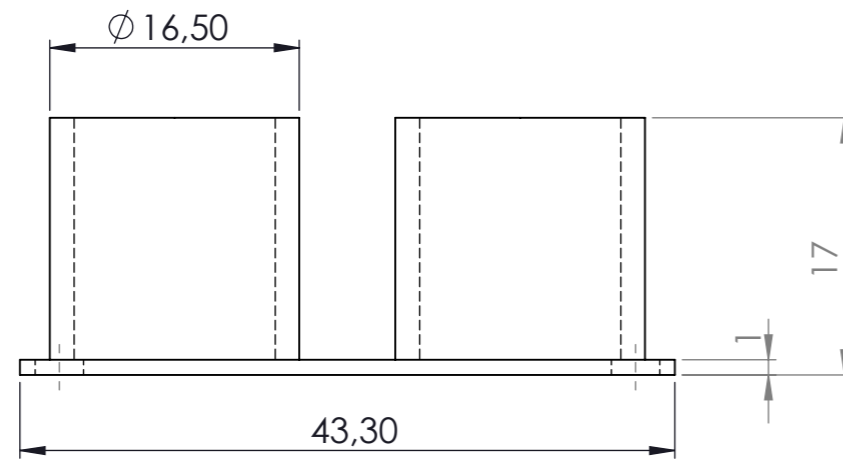



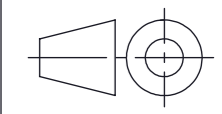
1	2	Mapa de alta precisión Ipad Pro		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor	 Universidad de La Laguna	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i> <i>Id. s. normas</i>		Madrazo Ramil UNE-EN-DIN		
<b>ESCALA:</b>	<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN</b>			Nº P.: 6.1.1.
1:5				Nom. Arch: Planos

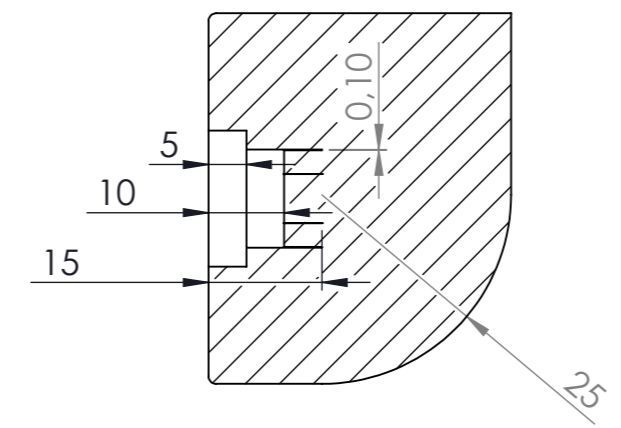
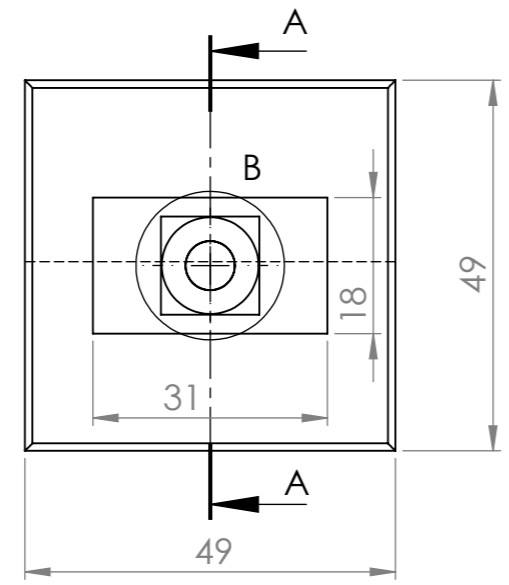


2	1	Rayo láser LIDAR		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor	<b>ULL</b> Universidad de La Laguna	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA:	AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN			Nº P.: 6.1.2.
1:2				Nom. Arch: Planos

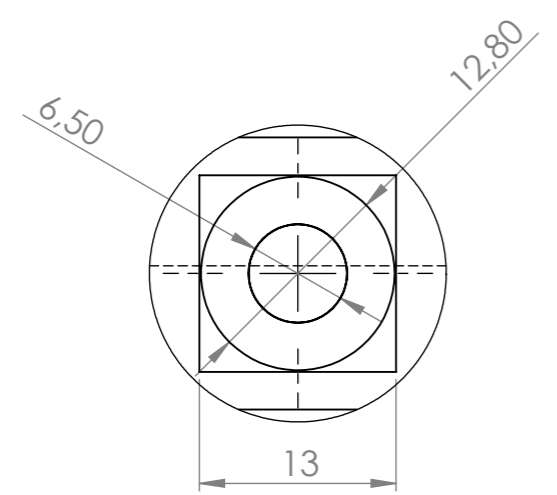
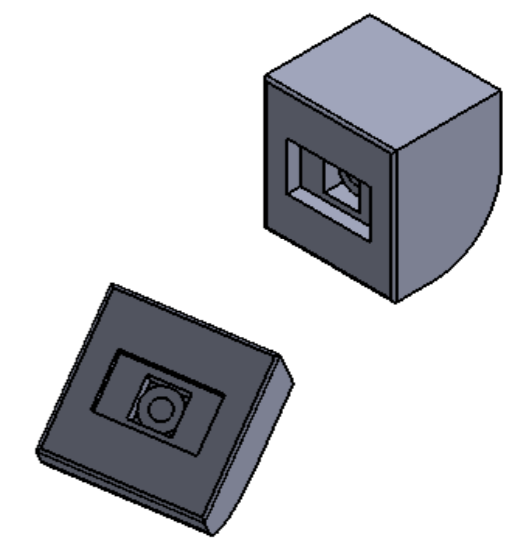




3	12	Sensor de ultrasonidos		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor	 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>	
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil		
<i>Id. s. normas</i>		UNE-EN-DIN		
<b>ESCALA:</b>	AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN			Nº P.: 6.1.3
2:1				Nom. Arch: Planos
				

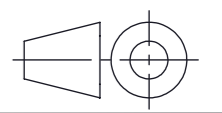


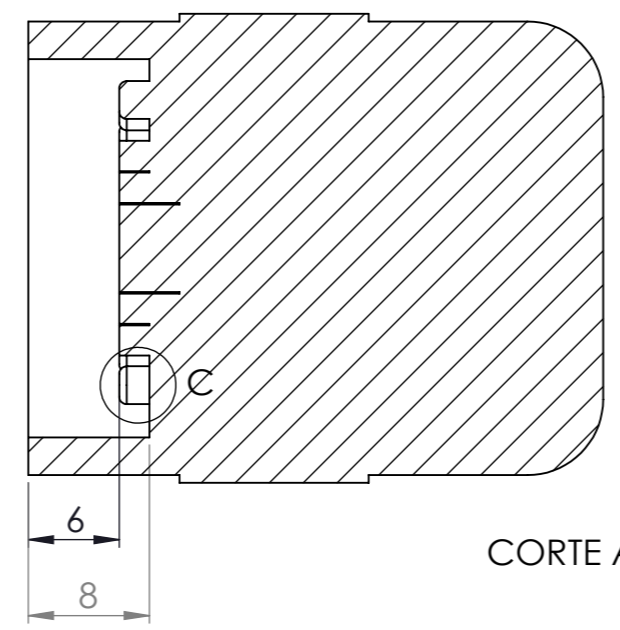
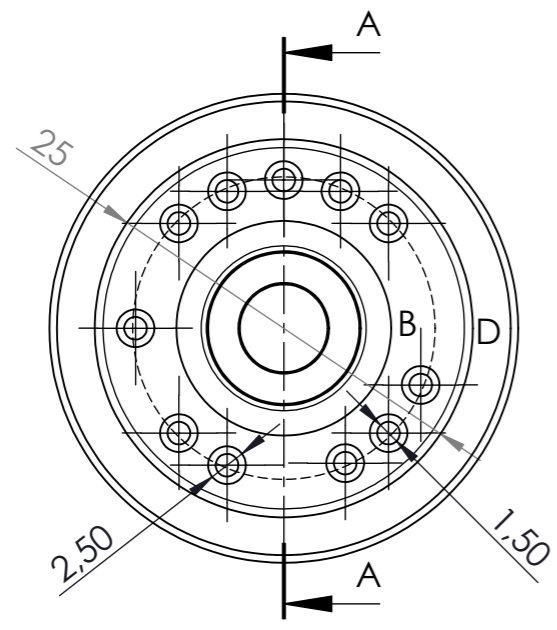
CORTE A-A



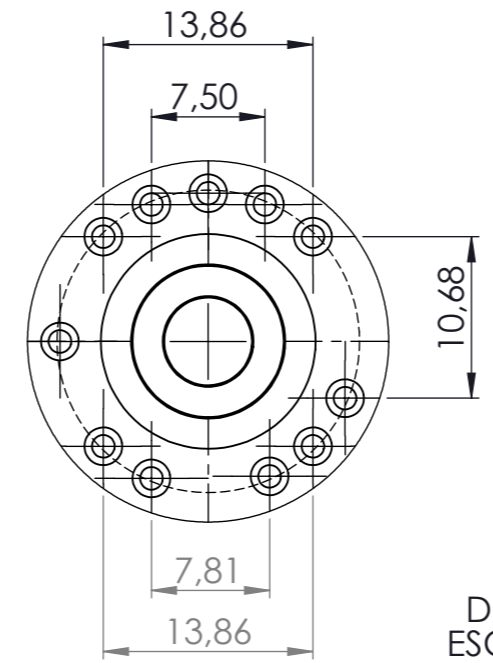
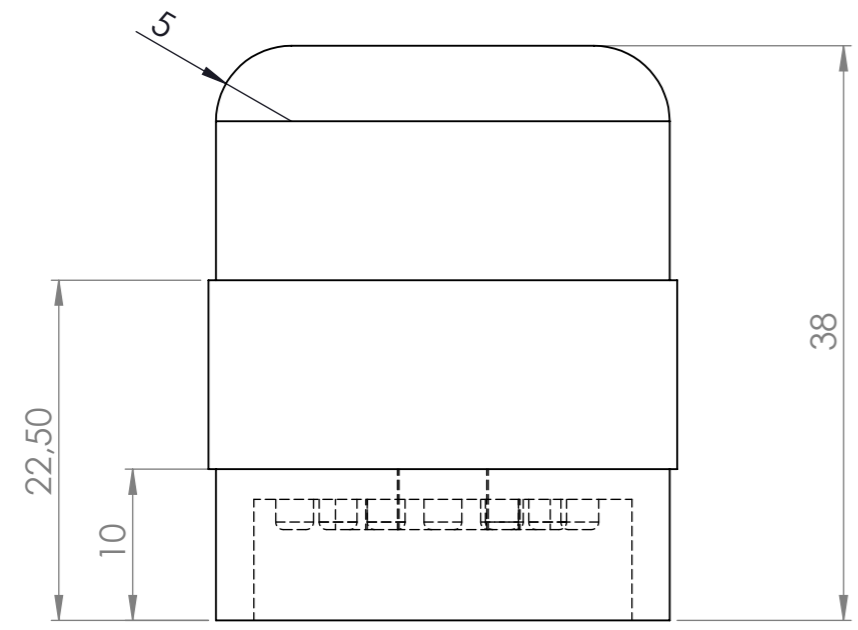
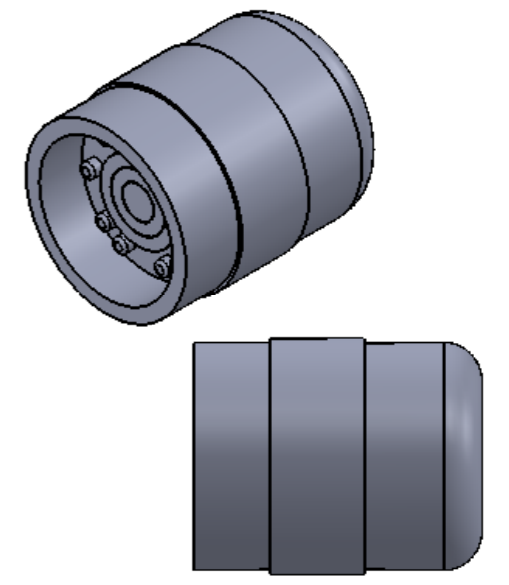
DETALLE B  
ESCALA 2 : 1

4	2	Cámara estereoscópica		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO				
	Fecha	Autor	 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna
ESCALA:	AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN			Nº P.: 6.1.4.
1:1				Nom. Arch: Planos

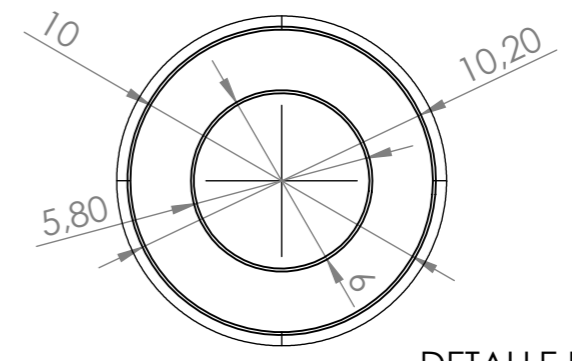




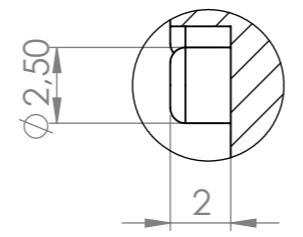
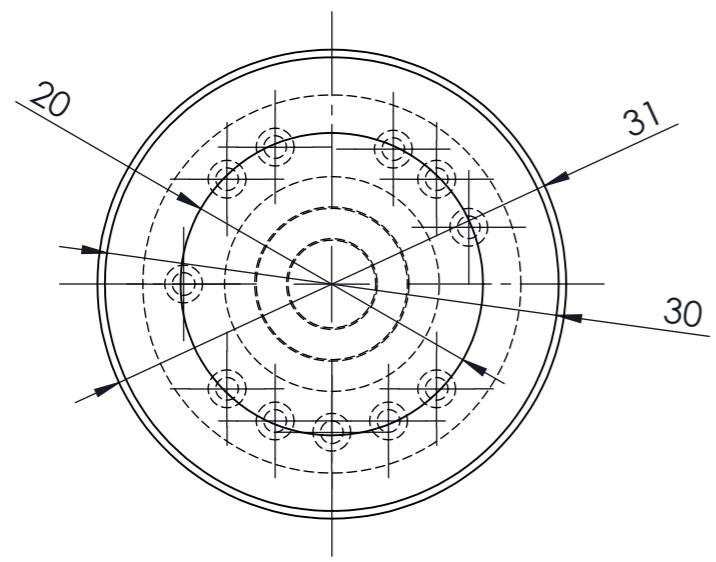
CORTE A-A



DETALLE D  
ESCALA 2 : 1

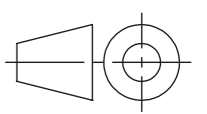


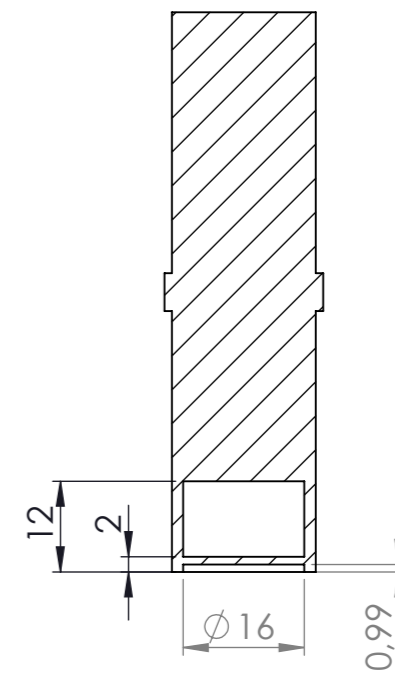
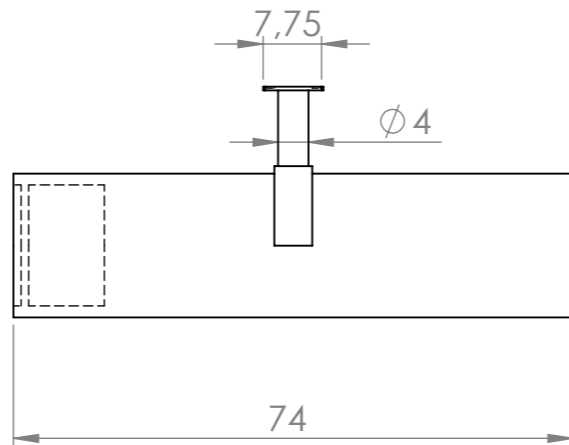
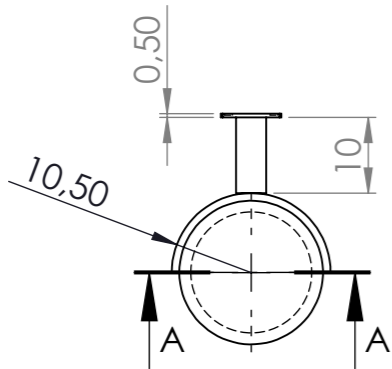
DETALLE B  
ESCALA 4 : 1



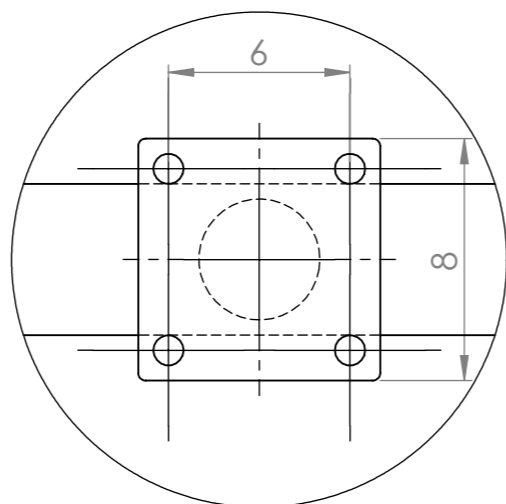
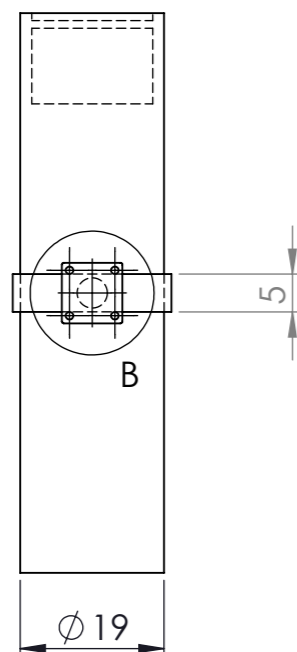
DETALLE C  
ESCALA 4 : 1

5	1	Cámara de infrarrojos	
MARCA NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>			
	Fecha	Autor	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene	
Comprobado		Madrazo Ramil	
Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN		Nº P.: 6.1.5.
2:1			Nom. Arch: Planos

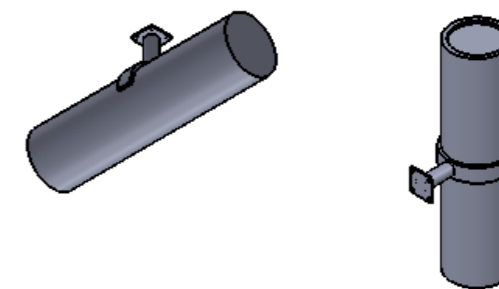




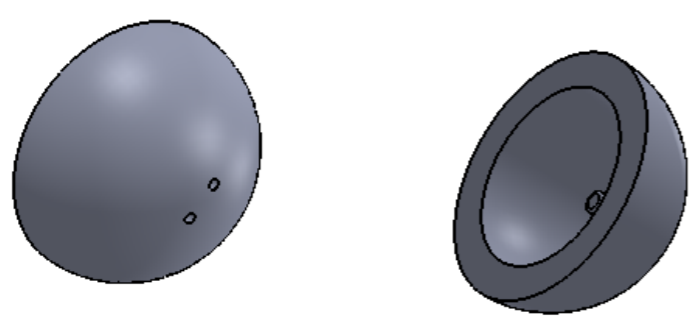
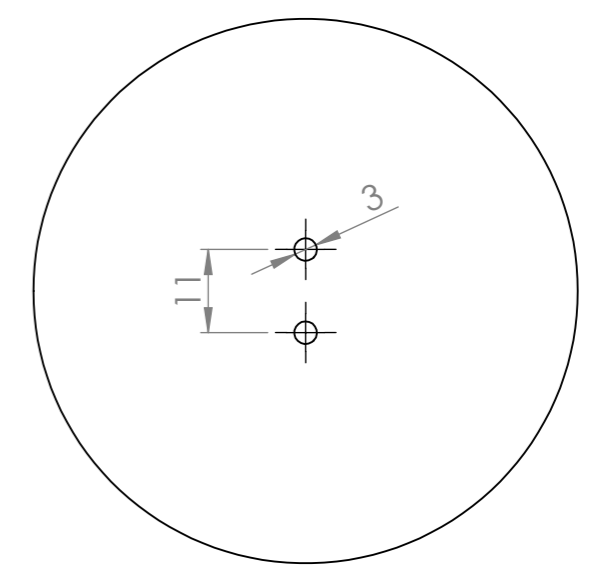
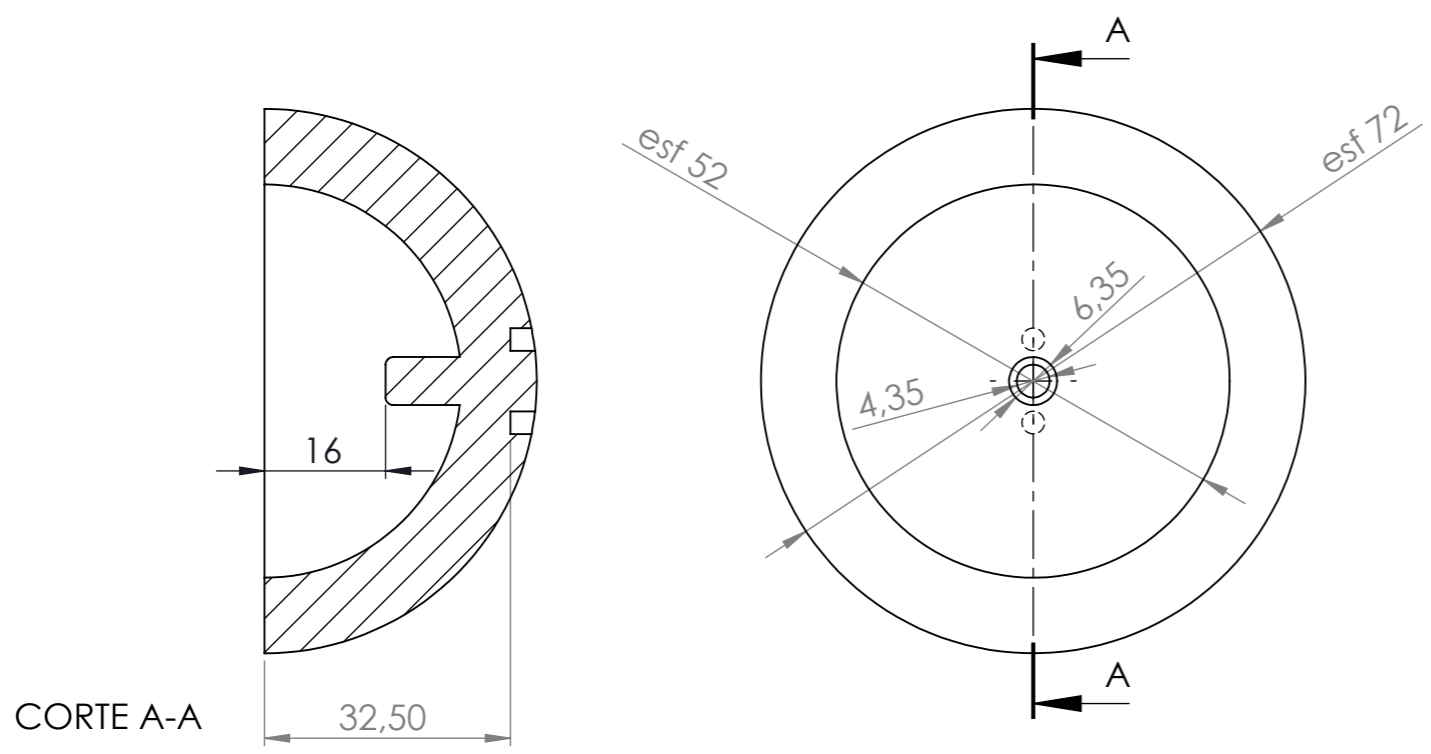
CORTE A-A



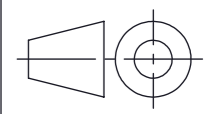
DETALLE B  
ESCALA 4 : 1



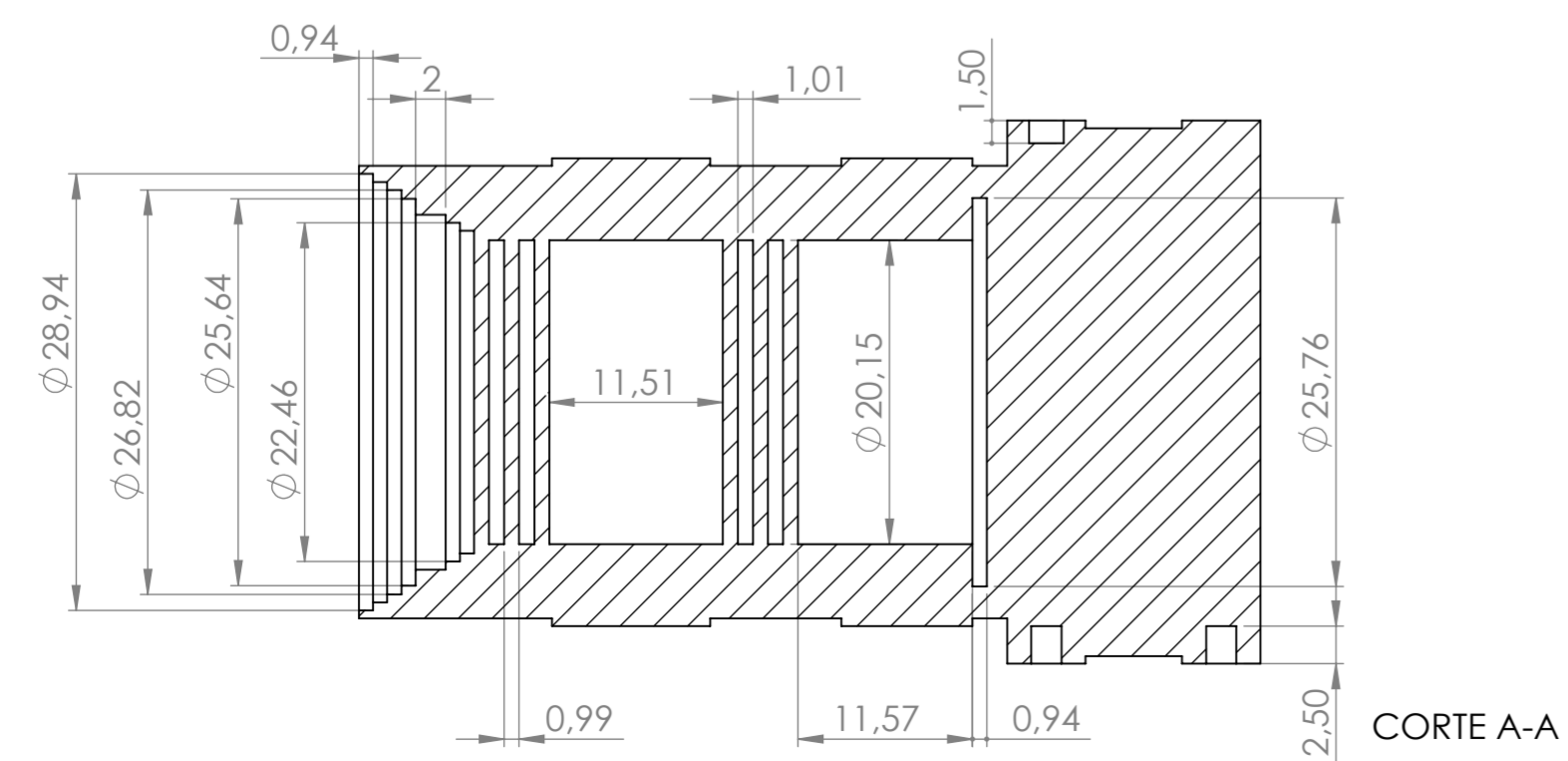
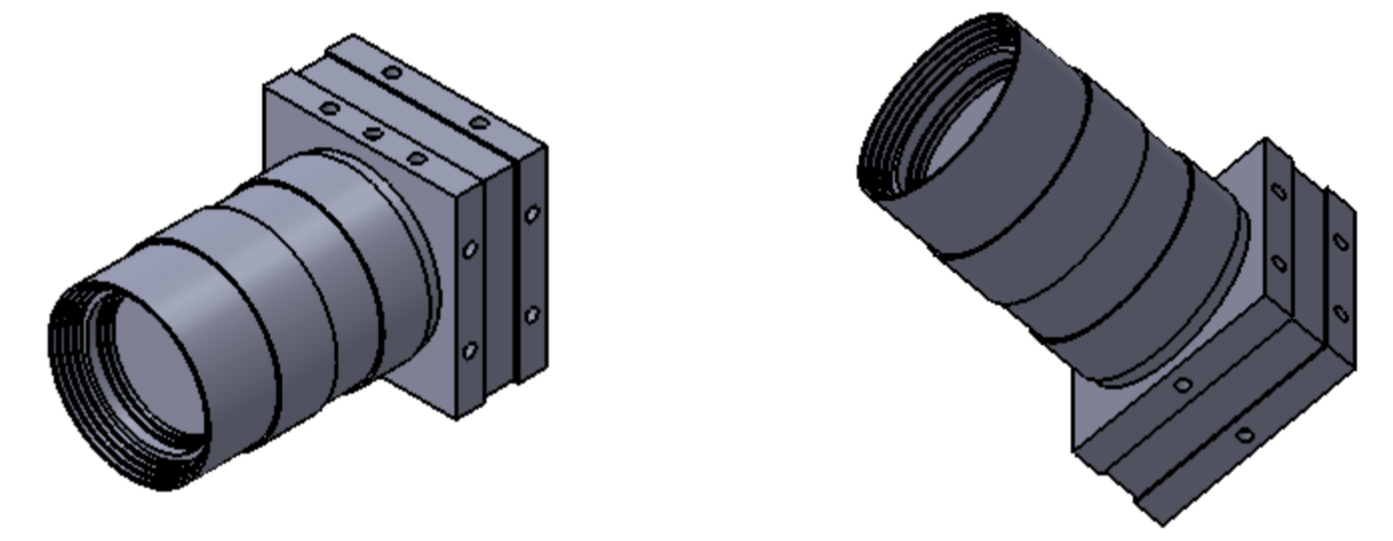
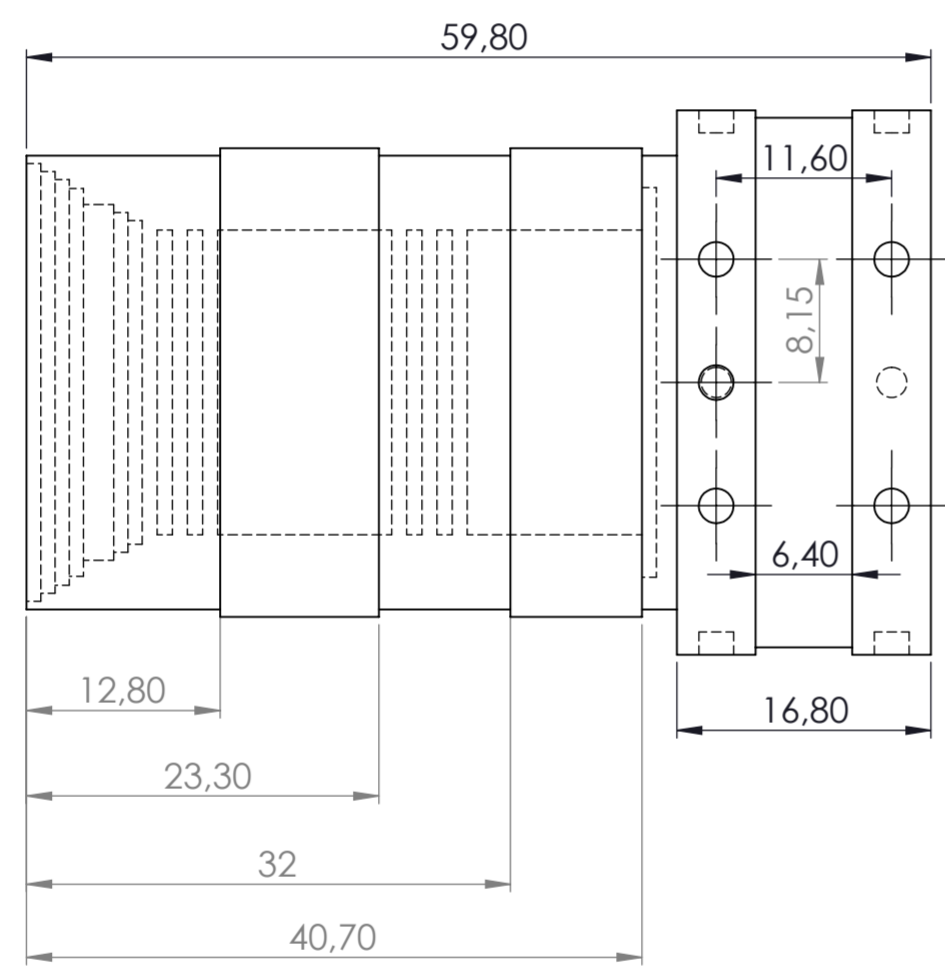
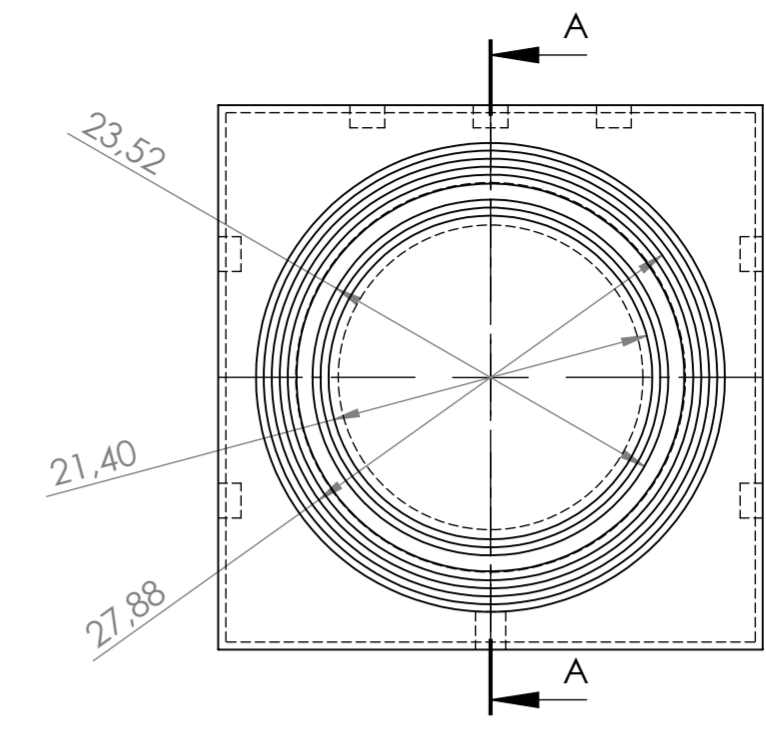
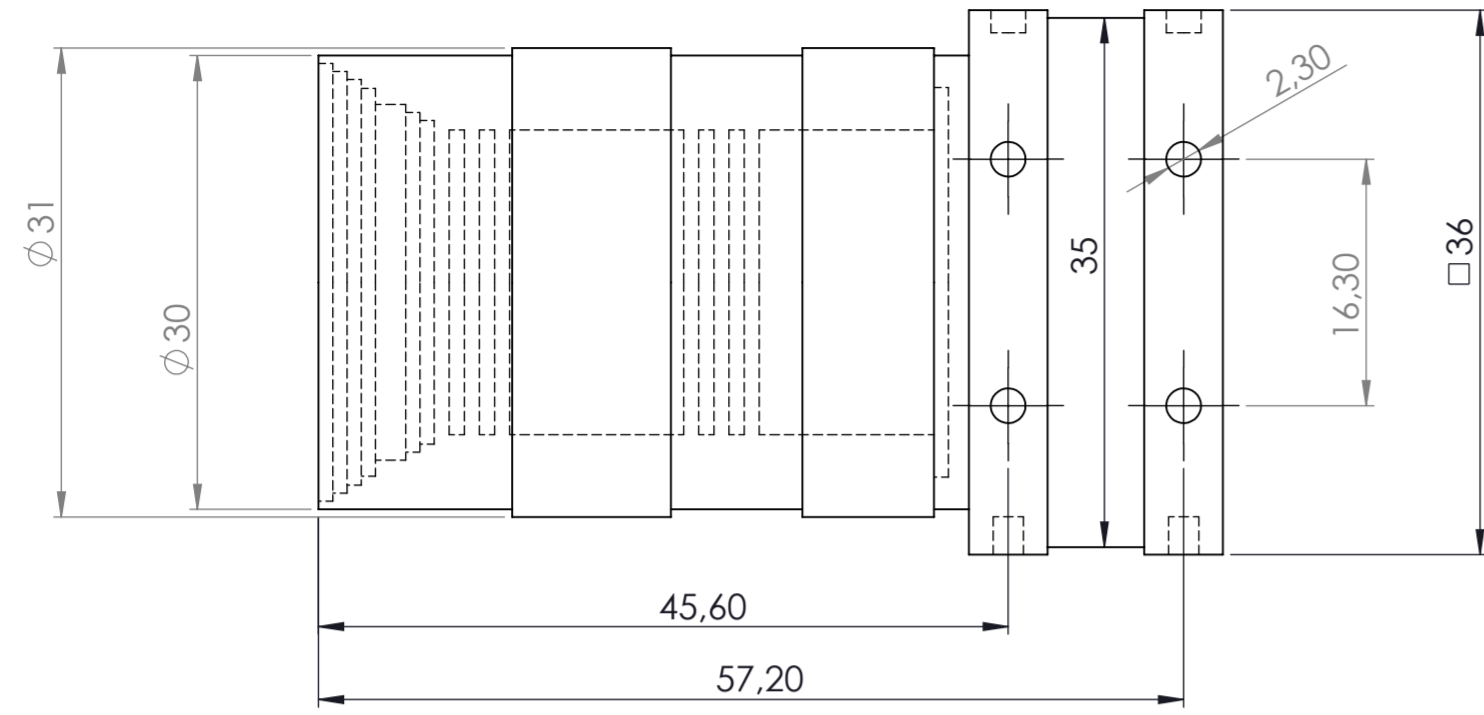
6	1	Cámara en el salpicadero			
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN	
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>					
	Fecha	Autor	<b>ULL</b> Universidad de La Laguna	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
	<i>Dibujado</i>	MARZO-2016			Irene
	<i>Comprobado</i>				Madrazo Ramil
	<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN			
<b>ESCALA:</b>	1:1			Nº P.:6.1.6.	
	AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN			Nom. Arch: Planos	



7	1	Cámara trasera		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor	<b>ULL</b> Universidad de La Laguna	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
ESCALA:	AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN			Nº P.: 6.1.7.
1:1				Nom. Arch: Planos

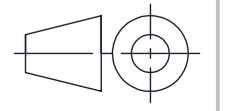


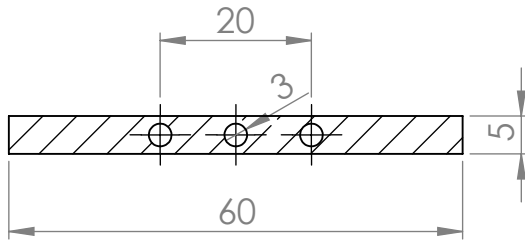




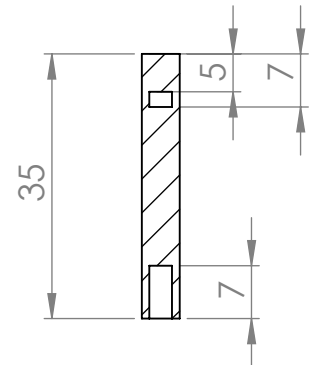
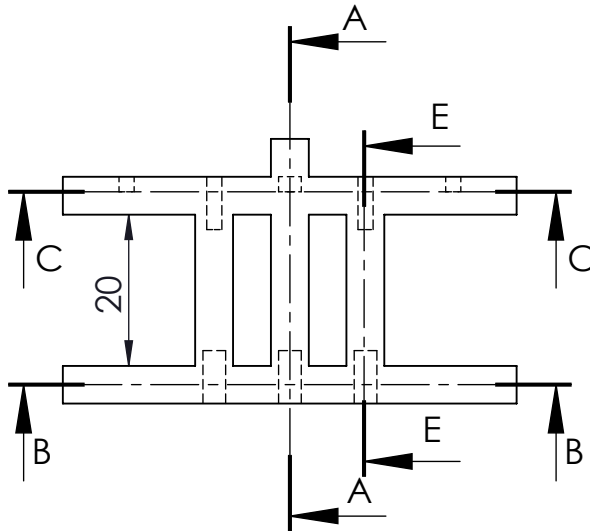
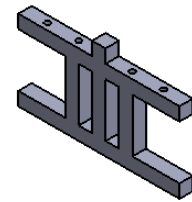
CORTE A-A

8	2	Cámara HD		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO				
	Fecha	Autor		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
	Dibujado	Irene		
	Comprobado	Madrazo Ramil		
	Id. s. normas	UNE-EN-DIN		
ESCALA:		AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN		Nº P.:6.1.8.1
2:1				Nom. Arch: Planos

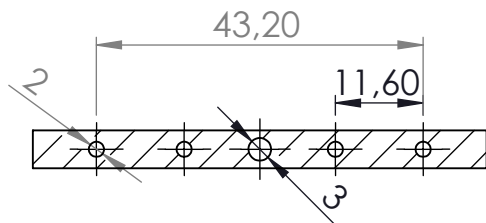




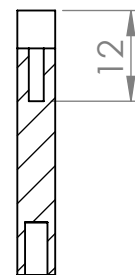
SECCIÓN B-B




SECCIÓN A-A

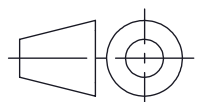


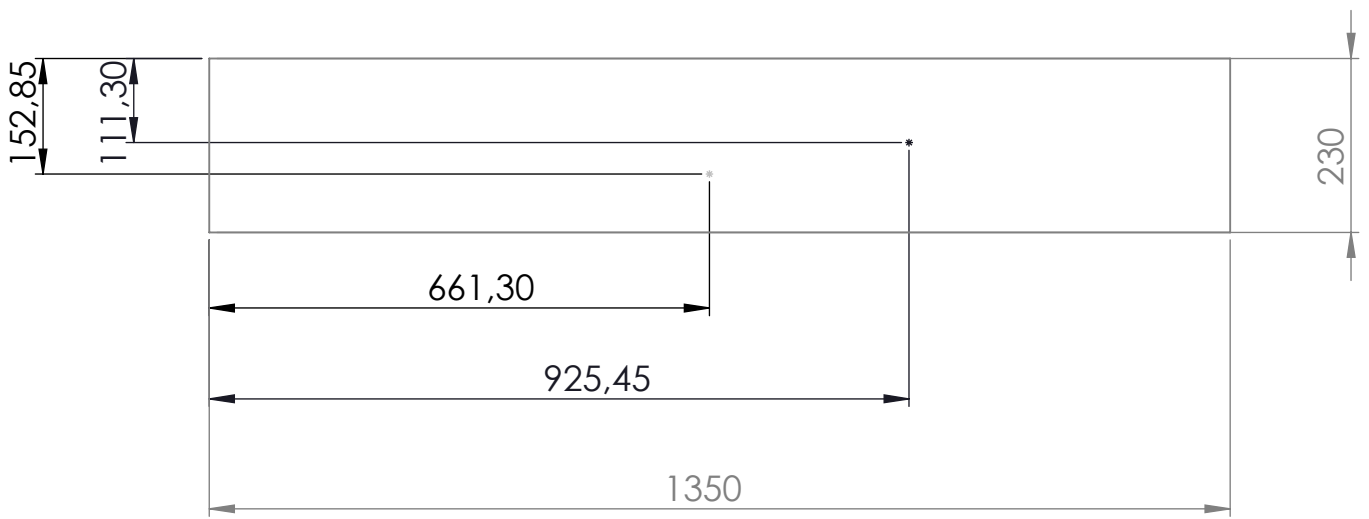
SECCIÓN C-C




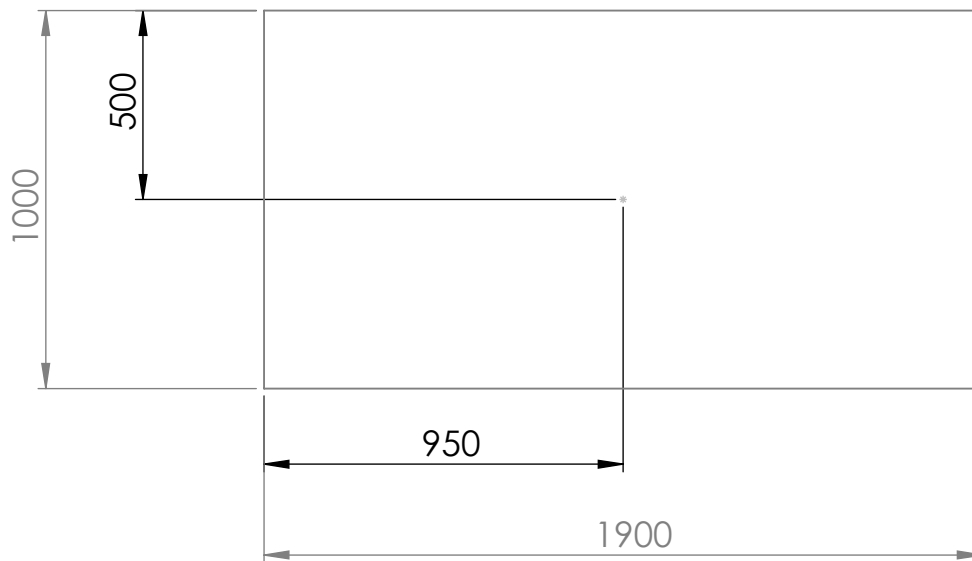
SECCIÓN E-E


8	1	Soporte de la cámara HD		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
ESCALA:	AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN			Nº P.: 6.1.8.2.
1:1				Nom. Arch: Planos

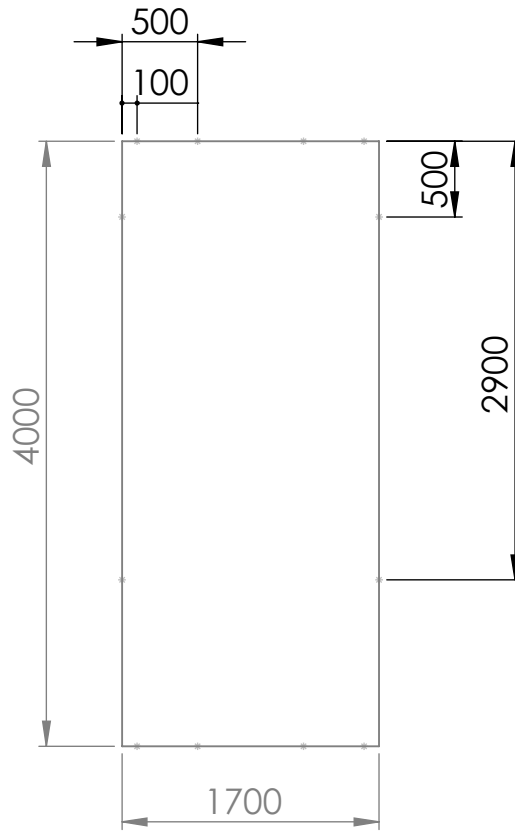





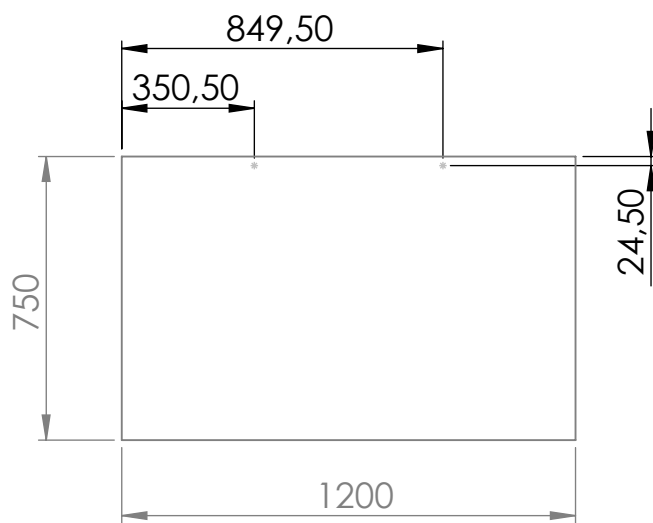
10		Colocación de los mapas. Perfil derecho, tapicería delante del conductor.		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL  Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil		
<i>Id. s. normas</i>		UNE-EN-DIN		
<b>ESCALA:</b>				Nº P.: 6.2.1.
1:10	<b>COLOCACIÓN DE ELEMENTOS</b>			Nom. Arch: Planos




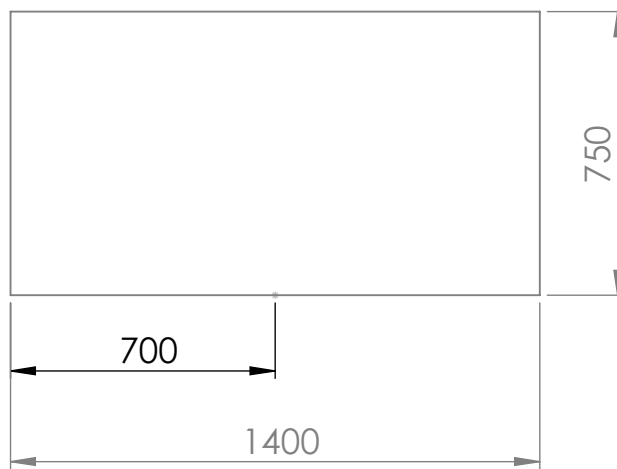
11		Colocación de la cámara del LIDAR. Planta, parte superior.		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil		
<i>Id. s. normas</i>		UNE-EN-DIN		
<b>ESCALA:</b>				Nº P.: 6.2.2
1:20	<b>COLOCACIÓN DE ELEMENTOS</b>			Nom. Arch: Planos




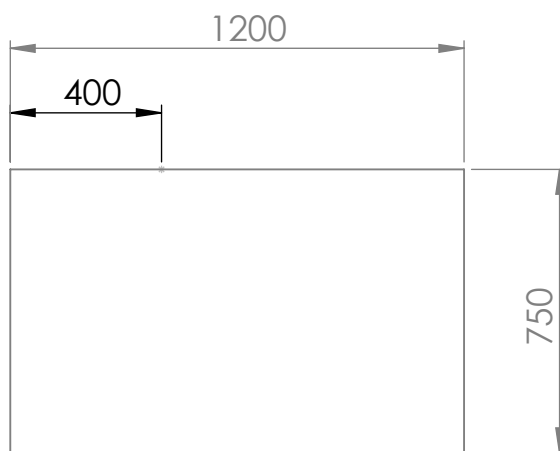
12		Colocación de los sensores de ultrasonidos. Planta, parte inferior.	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>			
	Fecha	Autor	 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene	
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil	
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		
<b>ESCALA:</b>	<b>COLOCACIÓN DE ELEMENTOS</b>		Nº P.: 6.2.3.
1:50			Nom. Arch: Planos




13		Colocación de la cámara de estereoscópica. Pefil derecho, parabrisas.		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	<i>Irene</i>		
<i>Comprobado</i>		<i>Madrazo Ramil</i>		
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN			
<b>ESCALA:</b>	<b>COLOCACIÓN DE ELEMENTOS</b>			Nº P.: 6.2.4
1:20				Nom. Arch: Planos

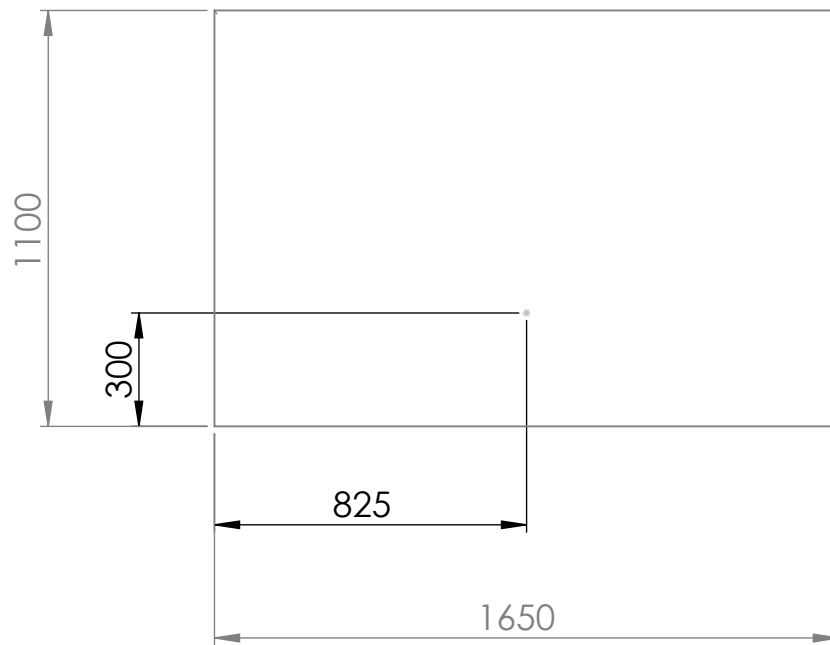



14		Colocación de la cámara de infrarrojos. Perfil derecho, parabrisas.	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>			
	Fecha	Autor	 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene	
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil	
<i>Id. s. normas</i>		UNE-EN-DIN	
<b>ESCALA:</b> 1:20	<b>COLOCACIÓN DE ELEMENTOS</b>		Nº P.:6.2.5.  Nom. Arch: Planos

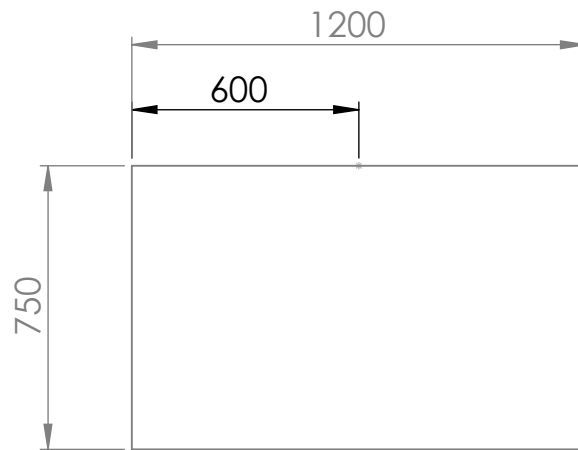



15		Colocación de la cámara del salpicadero. Perfil derecho, parabrisas.		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil		
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna	
<b>ESCALA:</b>	<b>COLOCACIÓN DE ELEMENTOS</b>			Nº P.: 6.2.6.
1:20				Nom. Arch: Planos

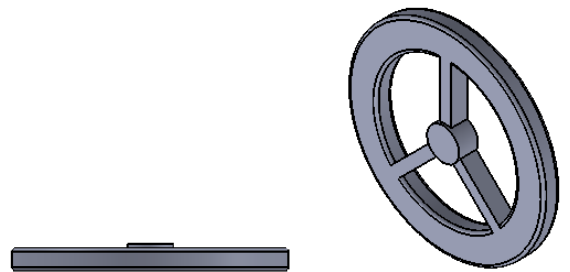
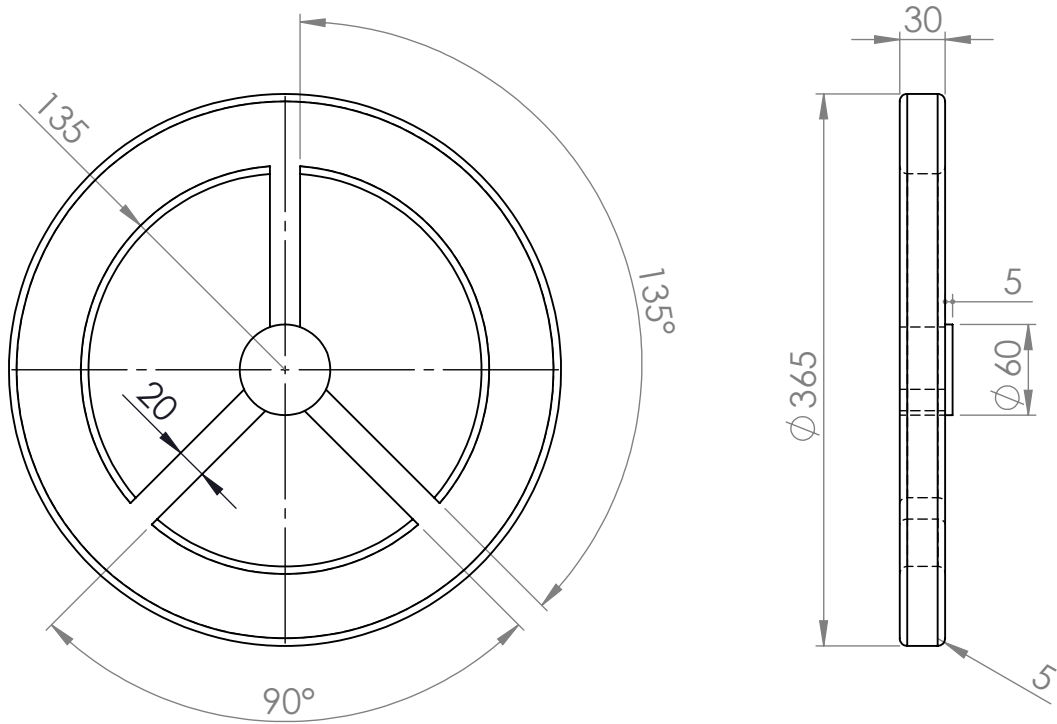




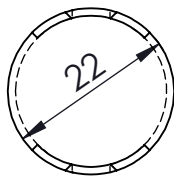
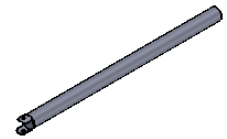
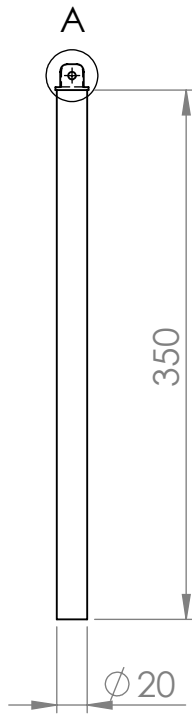
16		Colocación de la cámara trasera. Perfil izquierdo, luneta trasera.	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>			
	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	<i>Irene</i>	
<i>Comprobado</i>		<i>Madrazo Ramil</i>	
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		
<b>ESCALA:</b>	<b>COLOCACIÓN DE ELEMENTOS</b>		<b>Nº P.:</b> 6.2.7
1:20			<b>Nom. Arch:</b> Planos



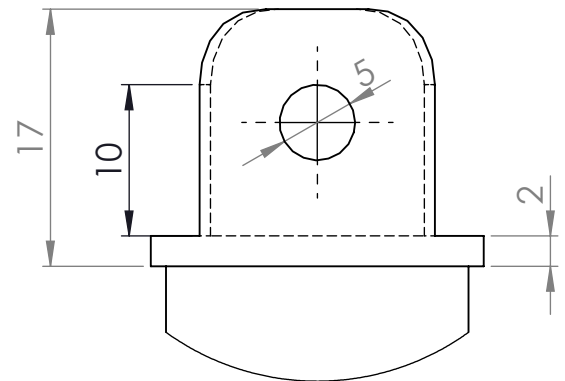
17		Colocación de las cámaras HD en el parabrisas Perfil derecho, parabrisas.	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>			
	Fecha	Autor	 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene	
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil	
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		
<b>ESCALA:</b>	<b>COLOCACIÓN DE ELEMENTOS</b>		Nº P.: 6.2.8
1:20			Nom. Arch: Planos




18	1	Volante		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	MATERIAL/OBSERVACIÓN	
AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil		
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN			
ESCALA:		SISTEMA DE DIRECCIÓN		Nº P.: 6.3.1
1:5				Nom. Arch: Planos

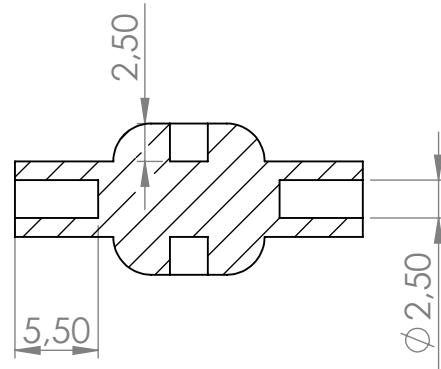
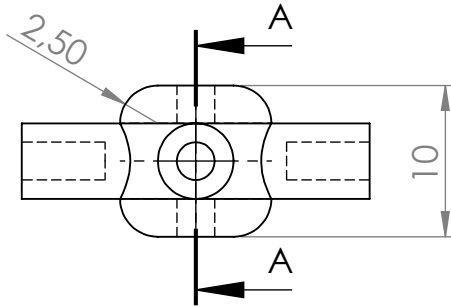
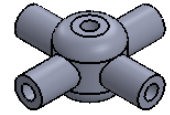


ESCALA 1 : 1

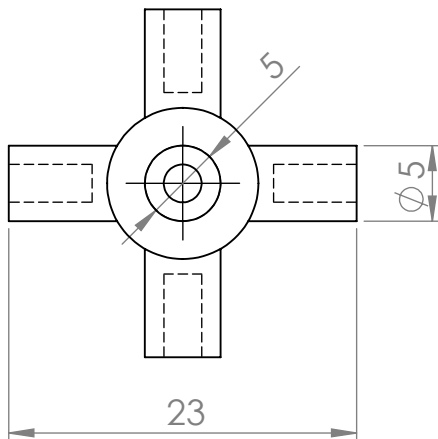


DETALLE A  
ESCALA 2 : 1

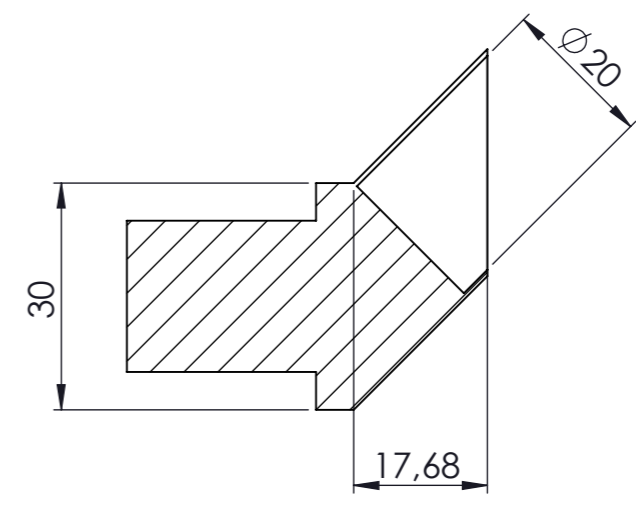
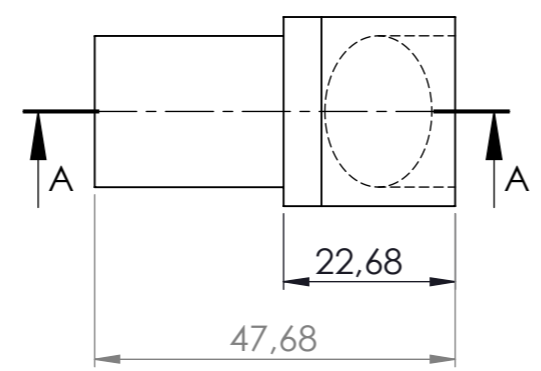
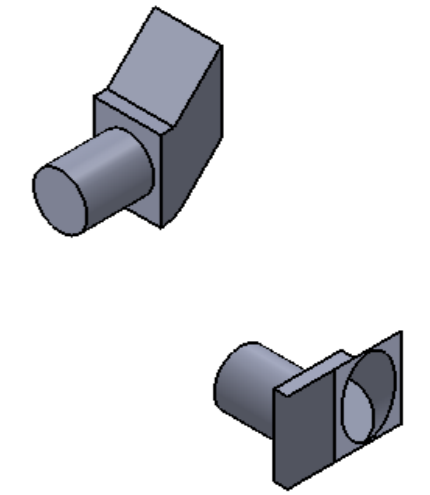
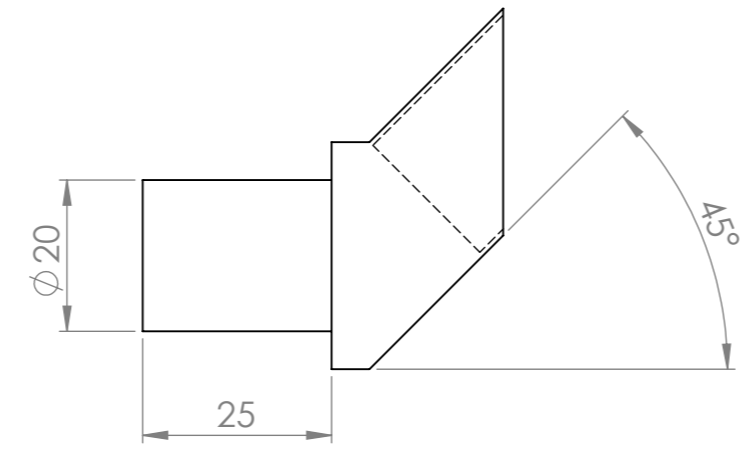
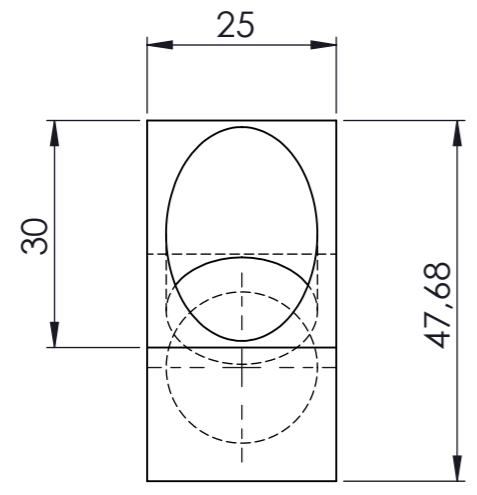
19	2	Columna de dirección		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO				
	Fecha	Autor		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas	UNE-EN-DIN			
ESCALA:	SISTEMA DE DIRECCIÓN			Nº P.: 6.3.2.
1:5				Nom. Arch: Planos



CORTE A-A

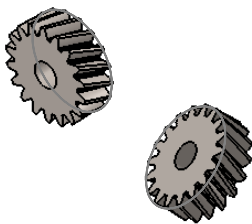
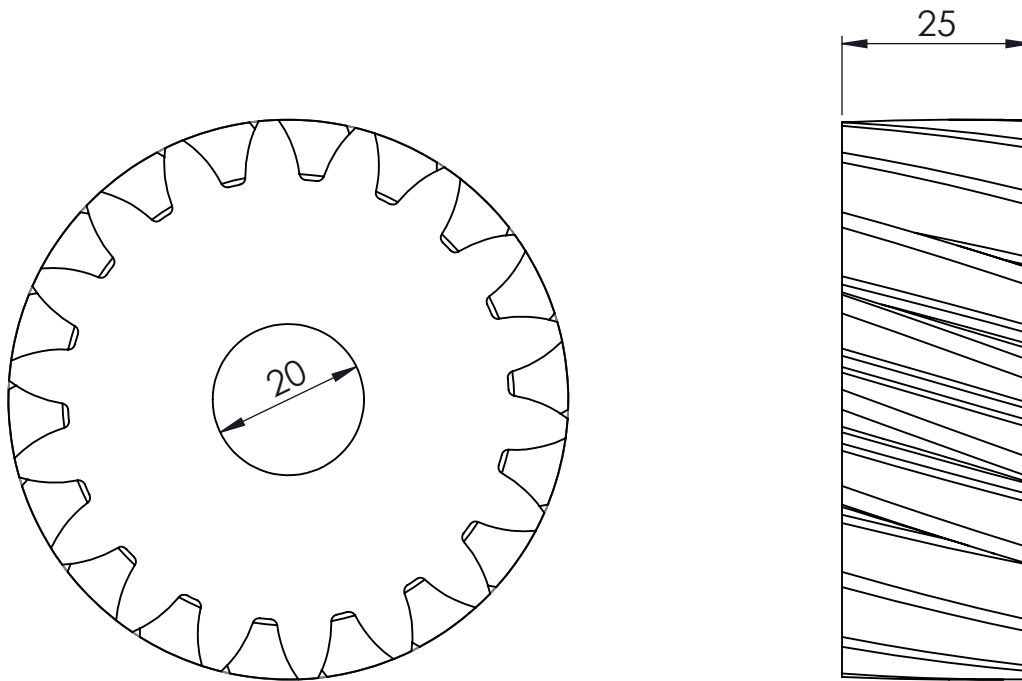


20	1	Junta cardán		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO				
	Fecha	Autor		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
ESCALA:	SISTEMA DE DIRECCIÓN			Nº P.: 6.3.3.
2:1				Nom. Arch: Planos


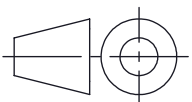


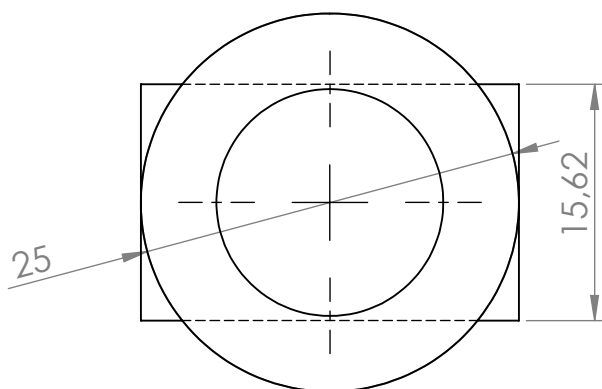
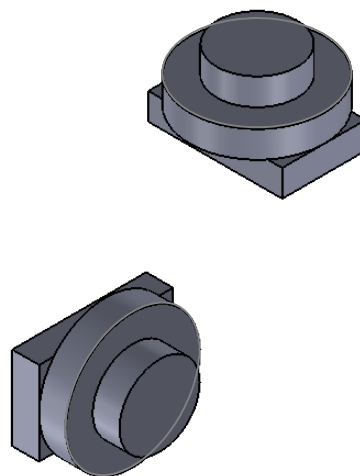
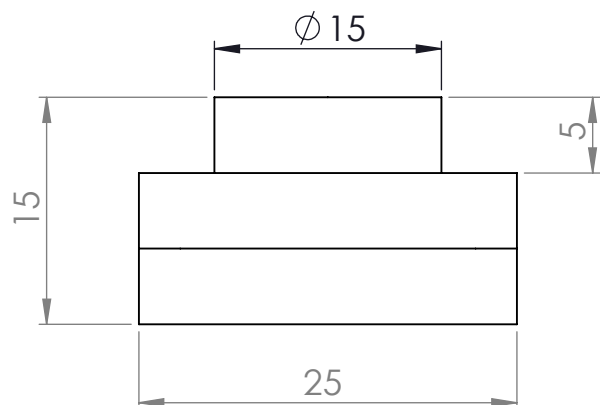
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1


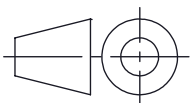
21	1	Pasador columna de dirección y piñón		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor	<b>ULL</b> Universidad de La Laguna	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
ESCALA:	1:1		SISTEMA DE DIRECCIÓN	Nº P.: 6.3.4.
			Nom. Arch: Planos	



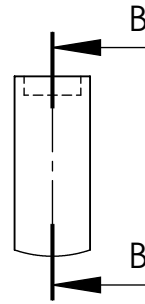
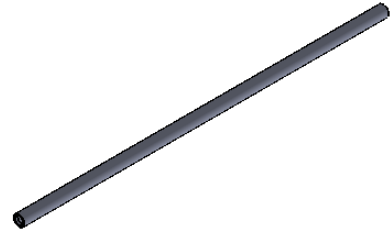
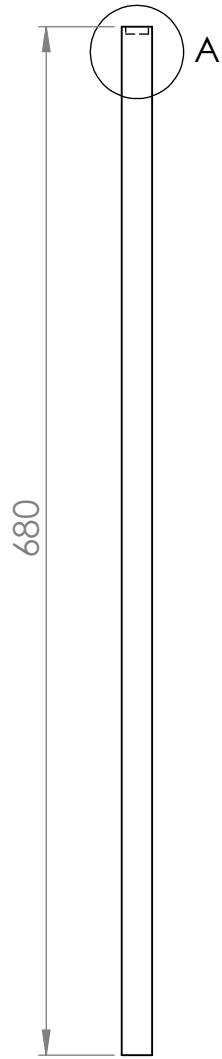
Módulo normal ( $M_n$ )	3,5
Número de dientes ( $Z$ )	18
Diámetro exterior ( $D_{ext}$ )	70 mm
Diámetro primitivo ( $D_p$ )	63 mm
Diámetro interior ( $D_{int}$ )	54,25 mm
Paso circunferencial ( $P_c$ )	11 mm
Sentido de la hélice	derecha
Ángulo de presión normal ( $\varphi_n$ )	20°
Diámetro del eje nominal	20 mm
Anchura de cara ( $F$ )	25 mm

22	1	Piñón	DIN 3972	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	NORMA	MATERIAL
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil		
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN			
<b>ESCALA:</b>	<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN</b>		Nº P.: 6.3.5.	
1:1			Nom. Arch: Planos	

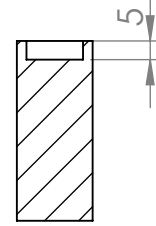


24	2	Pasador cremallera y barra de acoplamiento	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>			
	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene	
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil	
<i>Id. s. normas</i>		UNE-EN-DIN	
<b>ESCALA:</b>	<b>SISTEMA DE DIRECCIÓN</b>		Nº P.: 6.3.7.
2:1			Nom. Arch: Planos
			

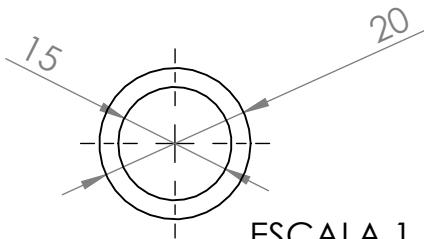




DETALLE A  
ESCALA 1 : 2

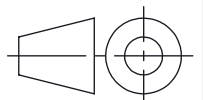


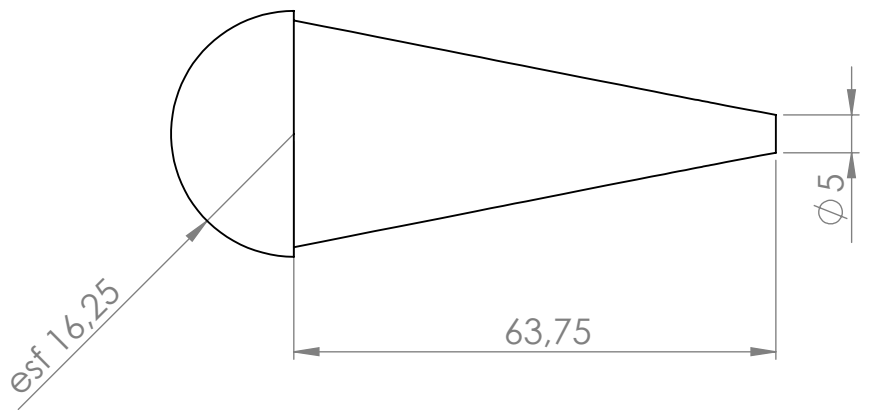
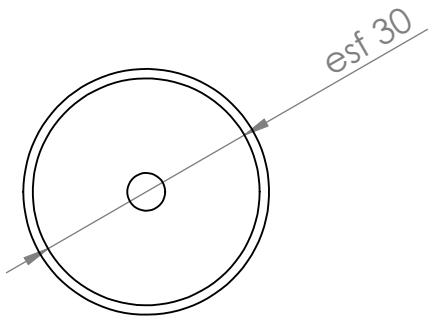
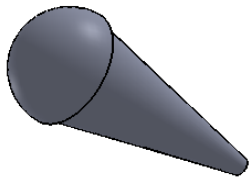
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 2




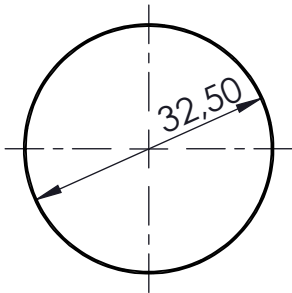
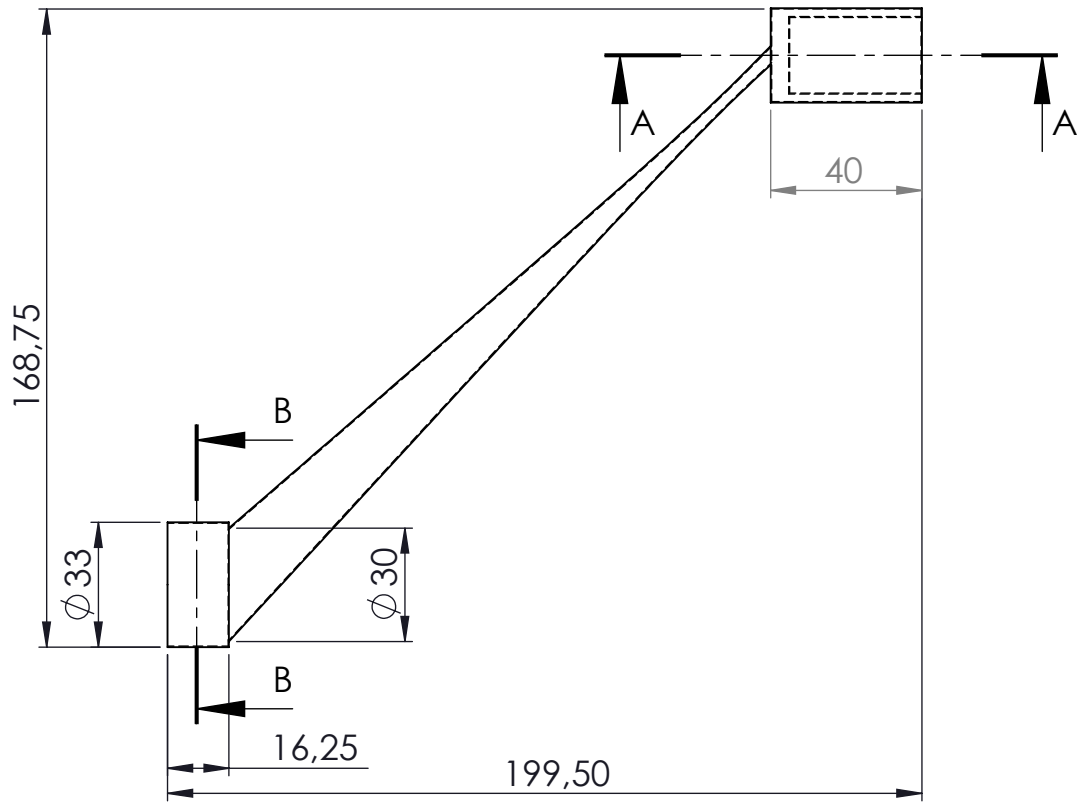
ESCALA 1 : 1

25	2	Barra de acoplamiento	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	MATERIAL/OBSERVACIÓN
AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO			
	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene	
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil	
<i>Id. s. normas</i>		UNE-EN-DIN	
ESCALA:	SISTEMA DE DIRECCIÓN		Nº P.: 6.3.8.
1:5			Nom. Arch: Planos

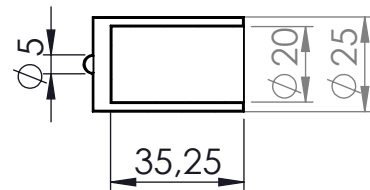
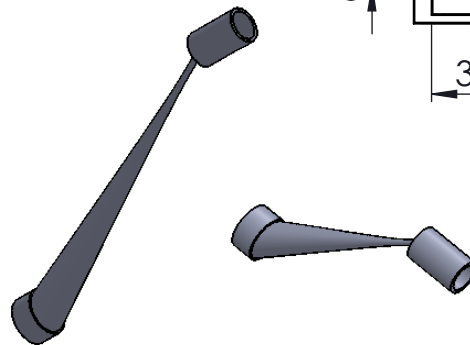





26	2	Pivote-mangueta		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil		
<i>Id. s. normas</i>		UNE-EN-DIN		
<b>ESCALA:</b>	<b>SISTEMA DE DIRECCIÓN</b>			Nº P.: 6.3.9.
1:1				Nom. Arch: Planos

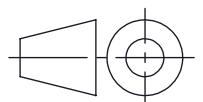


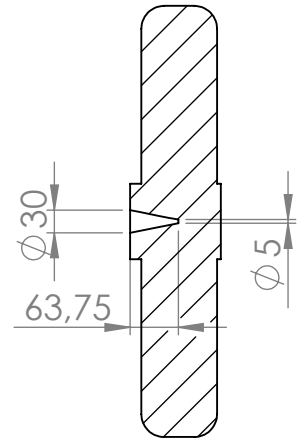
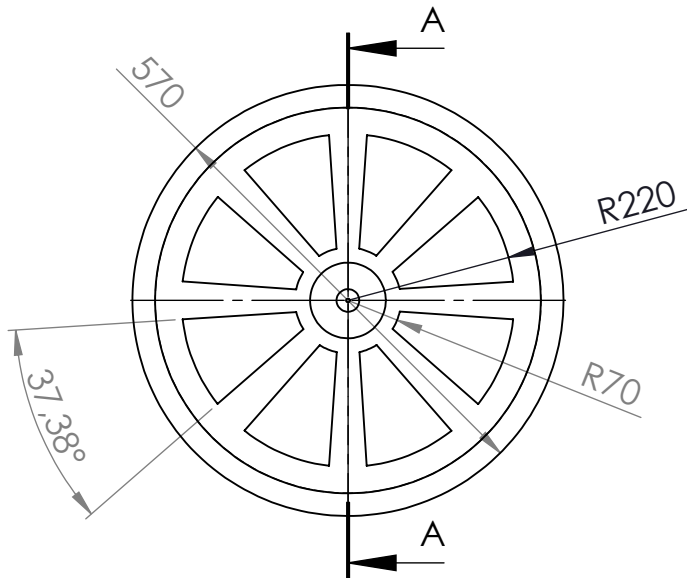
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 1



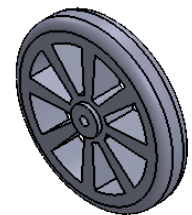
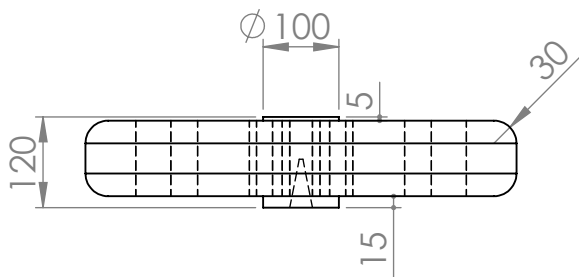
CORTE A-A

28	2	Rótula	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	MATERIAL/OBSERVACIÓN
AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO			
	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene	
Comprobado		Madrazo Ramil	
Id. s. normas		UNE-EN-DIN	
ESCALA:	SISTEMA DE DIRECCIÓN		Nº P.: 6.3.10.
1:2			Nom. Arch: Planos

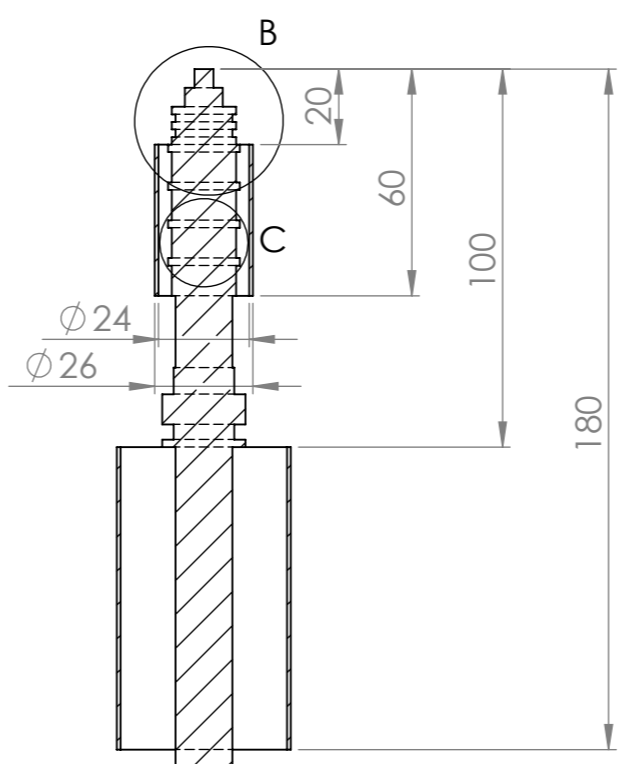
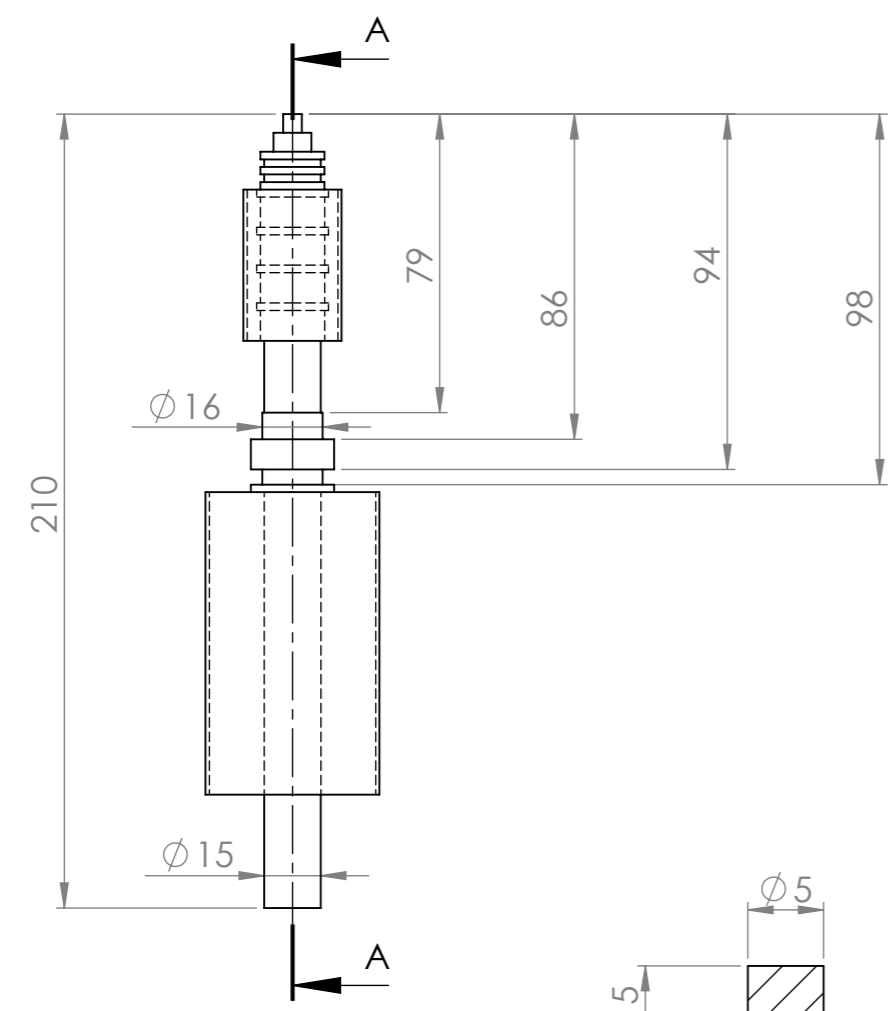




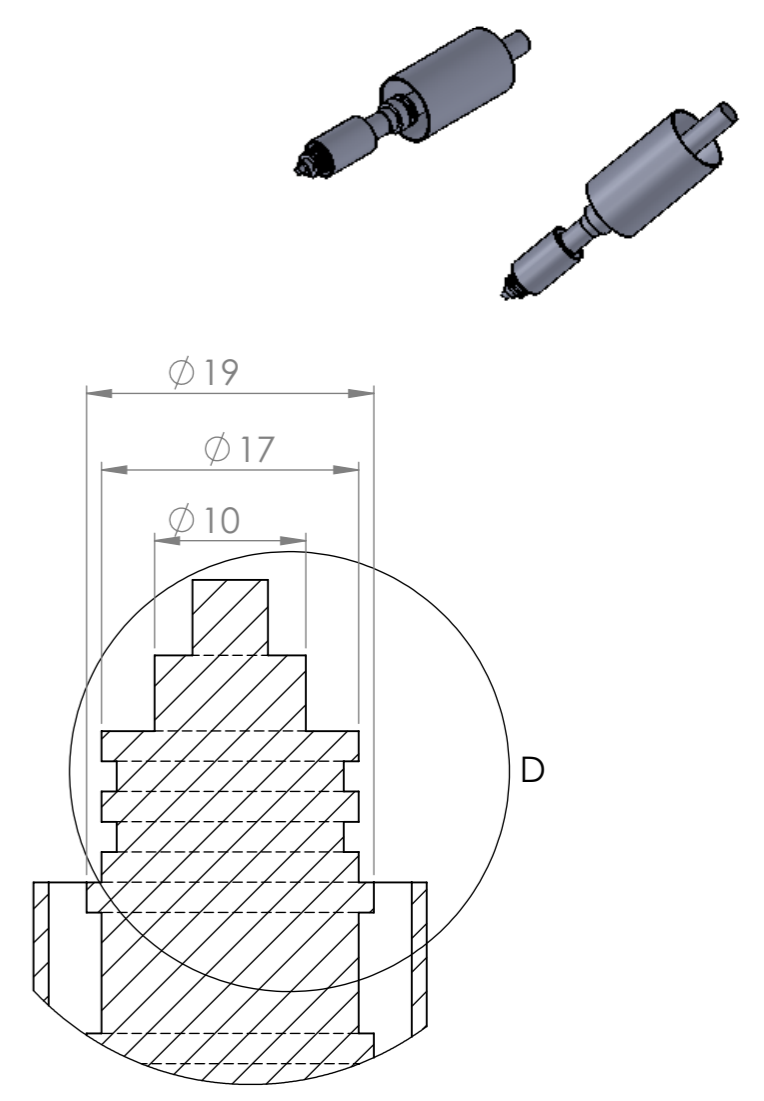
SECCIÓN A-A



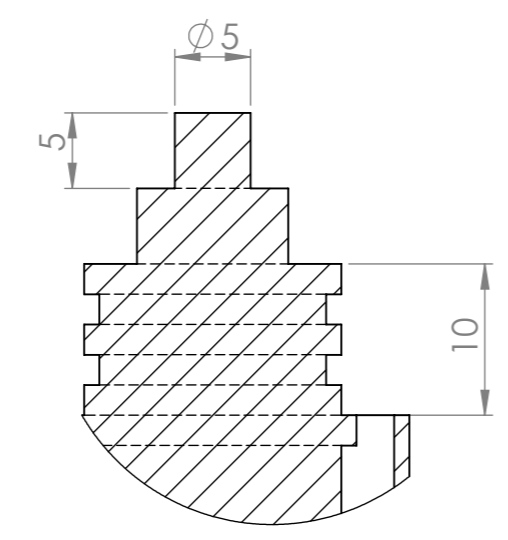
29	2	Rueda		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
<b>ESCALA:</b>		<b>SISTEMA DE DIRECCIÓN</b>		Nº P.: 6.3.11.
1:10				Nom. Arch: Planos



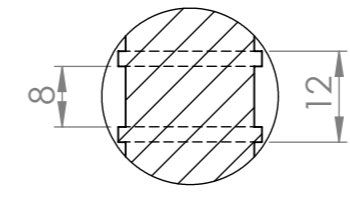
SECCIÓN A-A



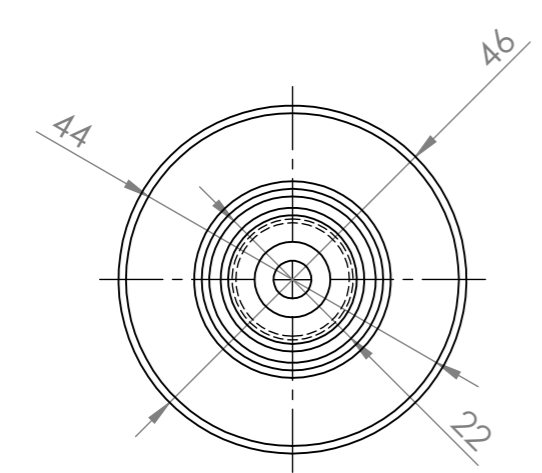
DETALLE B  
ESCALA 2 : 1



DETALLE D  
ESCALA 2 : 1

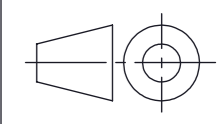


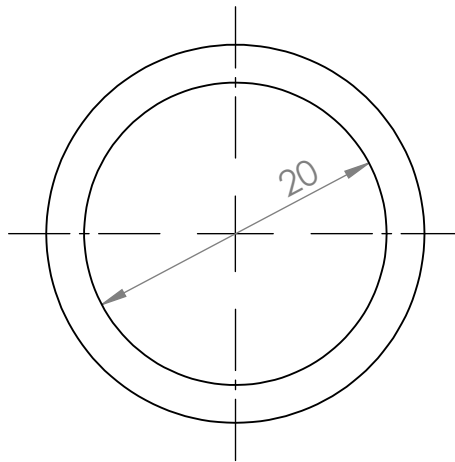
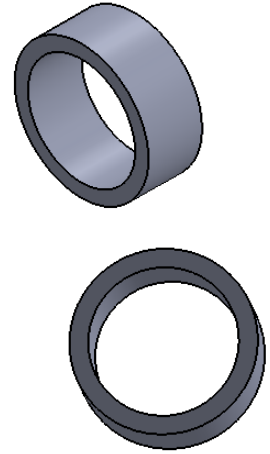
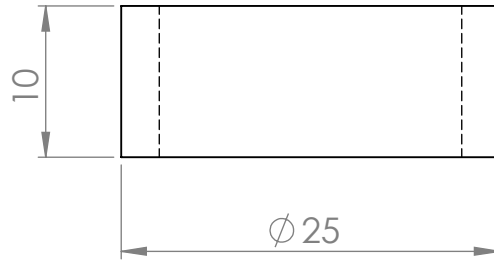
DETALLE C  
ESCALA 1 : 1




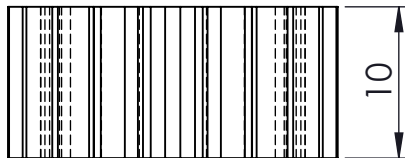
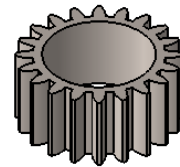
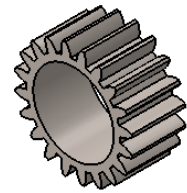
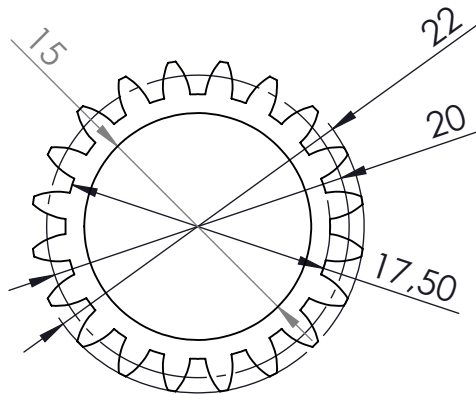
ESCALA 1 : 1

29	1	Eje		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor	<b>ULL</b> Universidad de La Laguna	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL  Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
ESCALA:	ACOPLE Y DESACOPLE			Nº P.: 6.4.1.
1:2				Nom. Arch: Planos


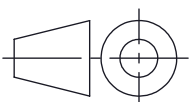


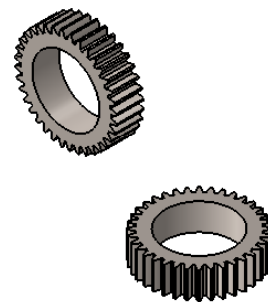
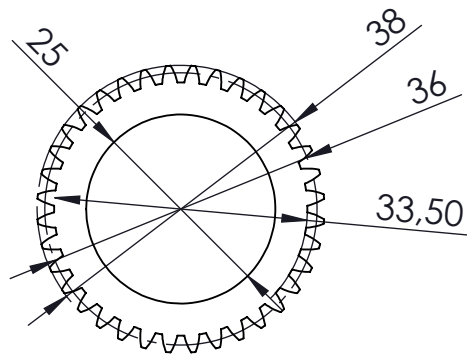


30	1	Arandela de sujeción		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 <b>ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil		
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna	
<b>ESCALA:</b>		<b>ACOPLE Y DESACOPLE</b>		Nº P.: 6.4.2.
2:1				Nom. Arch: Planos


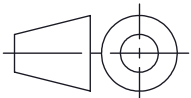


Módulo (M)	1
Número de dientes (Z)	20
Diámetro interior (Dint)	17,5 mm
Diámetro primitivo (Dp)	20 mm
Diámetro exterior (Dext)	22 mm
Diámetro del eje nominal	15 mm
Paso circunferencial (Pc)	3,14 mm
Ángulo de presión (φ)	20°
Anchura de cara (F)	10 mm

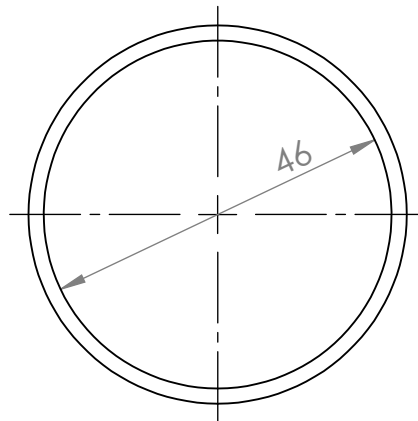
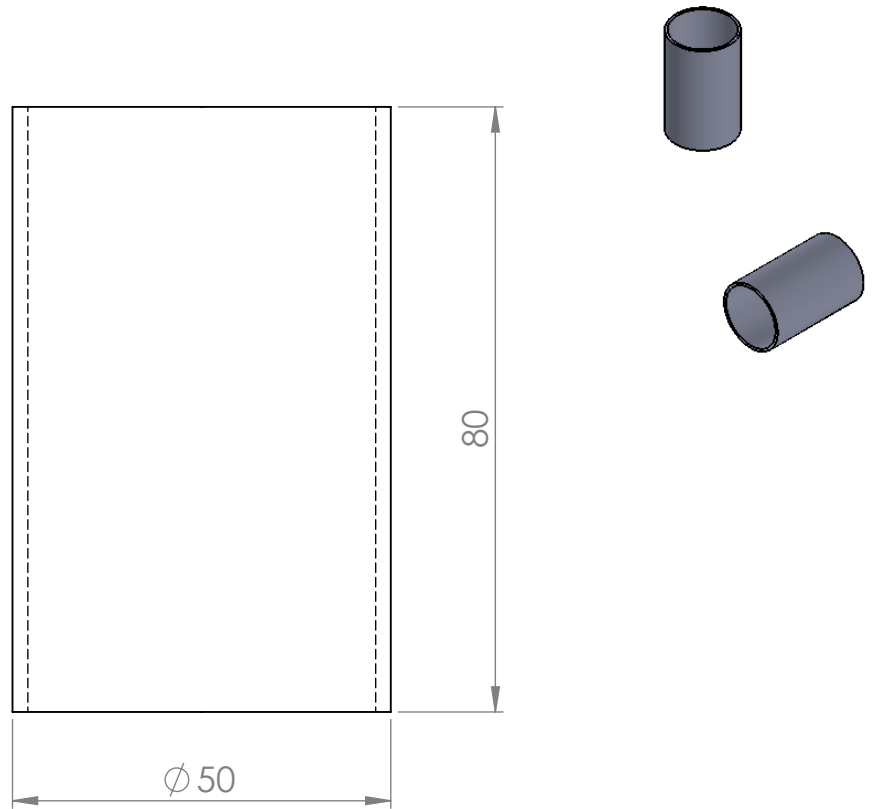
31	1	Piñón Bénix	DIN 3972	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	NORMA	
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
ESCALA:	<b>ACOPLE Y DESACOPLE</b>		Nº P.: 6.4.3.	
2:1			Nom. Arch: Planos	





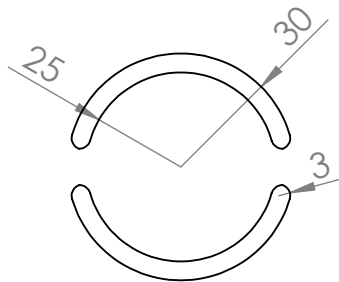
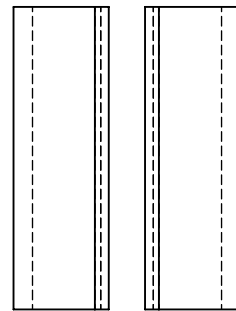
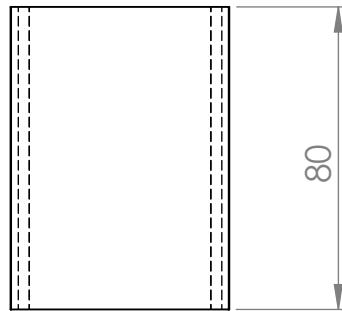
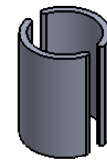
Módulo (M)	1
Número de dientes (Z)	36
Diámetro interior (Dint)	33,5 mm
Diámetro primitivo (Dp)	36 mm
Diámetro exterior (Dext)	38 mm
Diámetro del eje nominal	25 mm
Paso circunferencial (Pc)	3,14 mm
Ángulo de presión ( $\varphi$ )	20°
Anchura de cara (F)	10 mm


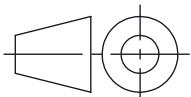
32	1	Volante motor	DIN 3972	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	NORMA	MATERIAL
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna	
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
ESCALA:	<b>ACOPLE Y DESACOPLE</b>		Nº P.: 6.4.4.	
1:1			Nom. Arch: Planos	

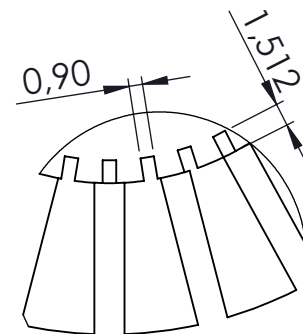
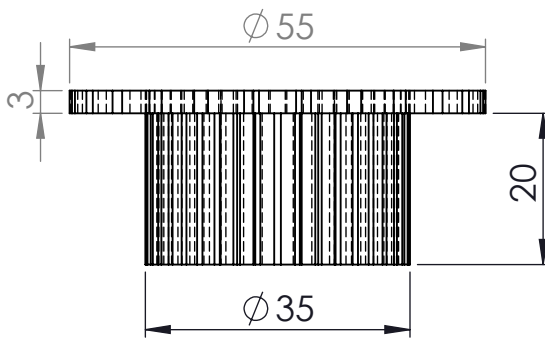
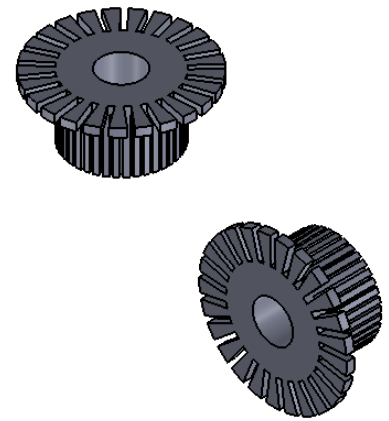
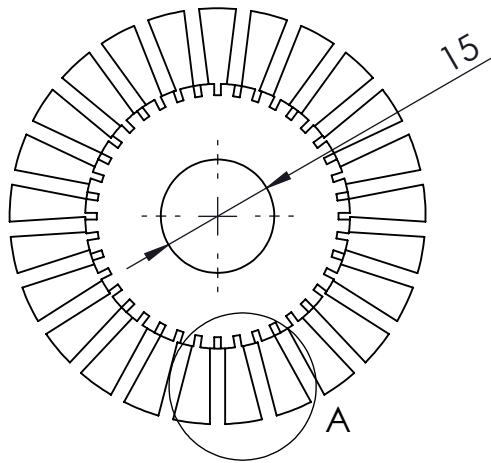




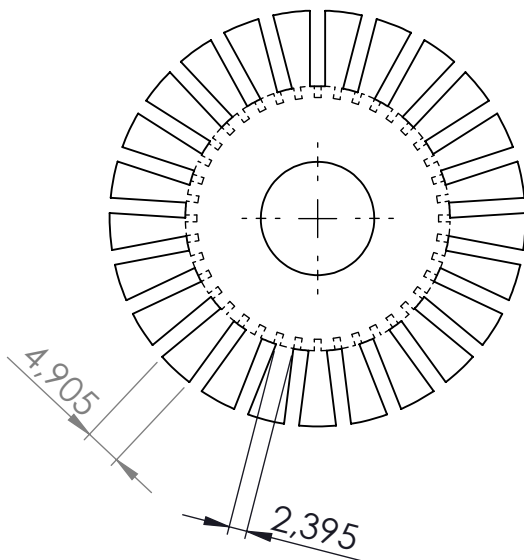
33	1	Armazón		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil		
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna	
<b>ESCALA:</b> 1:1		<b>ACOPLE Y DESACOPLE</b>		Nº P.: 6.4.5.  Nom. Arch: Planos
				



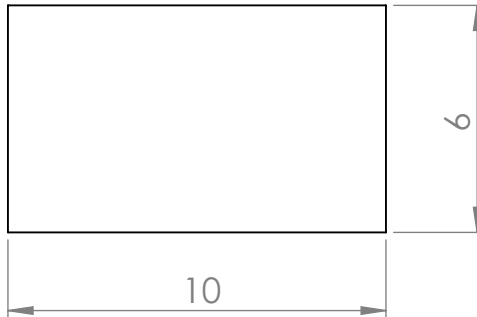
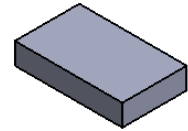
34	1	Bobina de campo		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
ESCALA:				Nº P.: 6.4.6.
1:2		ACOPLE Y DESACOPLE		Nom. Arch: Planos
				




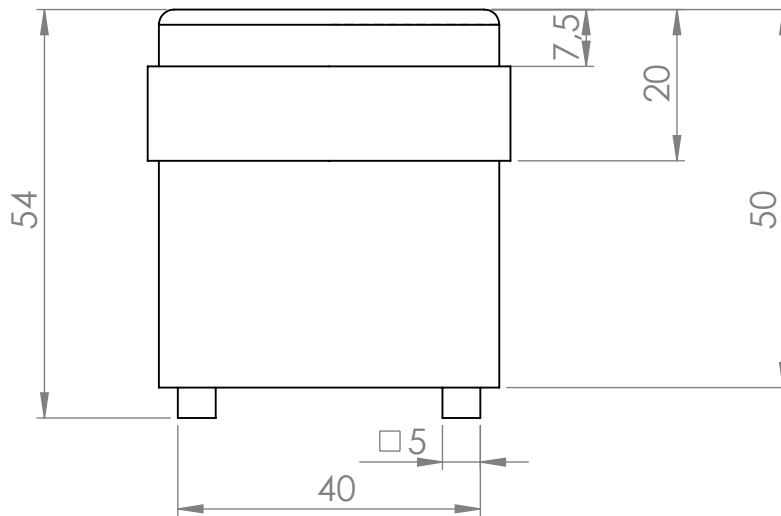
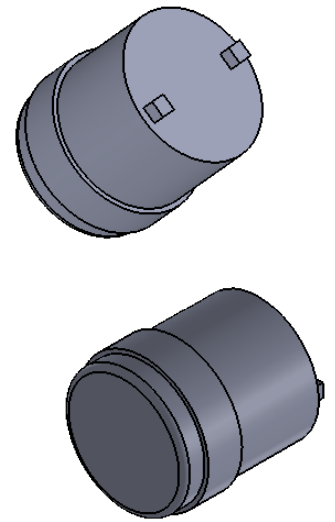
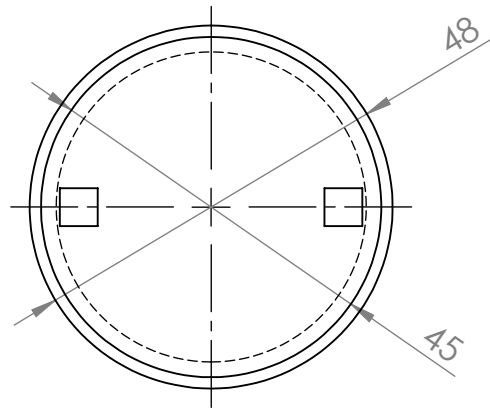
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1



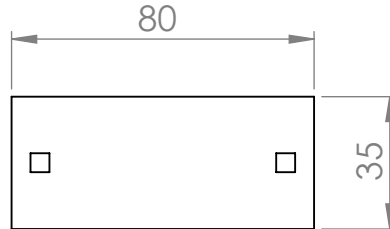
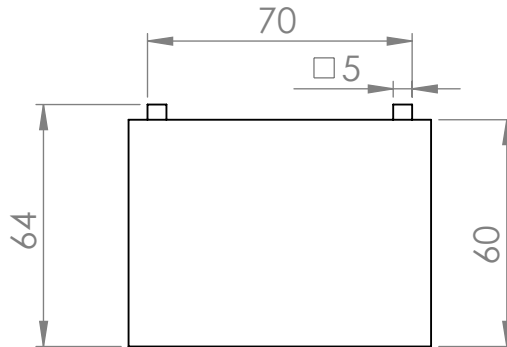
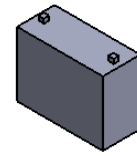
35	1	Conmutador		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
ESCALA:		ACOPLE Y DESACOPLE		Nº P.: 6.4.7.
1:1				Nom. Arch: Planos




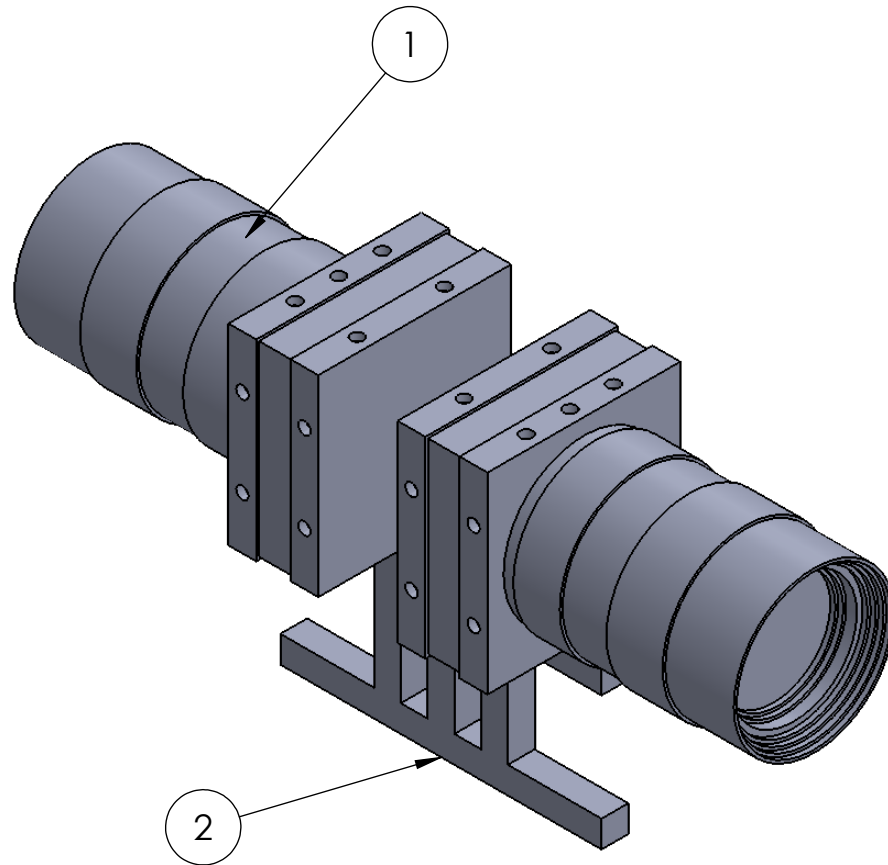
36	2	Escobilla		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil		
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		Universidad de La Laguna	
<b>ESCALA:</b>	<b>ACOPLE Y DESACOPLE</b>			<b>Nº P.:</b> 6.4.8.  <b>Nom. Arch:</b> Planos
				



37	1	Relé		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	MATERIAL/OBSERVACIÓN	
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
ESCALA:		<b>ACOPLE Y DESACOPLE</b>		Nº P.: 6.4.9.
1:1				Nom. Arch: Planos



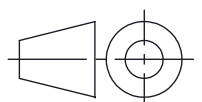
38	1	Batería		
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS		MATERIAL/OBSERVACIÓN
<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO</b>				
	Fecha	Autor		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene		
Comprobado		Madrazo Ramil		
Id. s. normas		UNE-EN-DIN		
<b>ESCALA:</b>		<b>ACOPLE Y DESACOPLE</b>		Nº P.: 6.4.10.
1:2				Nom. Arch: Planos

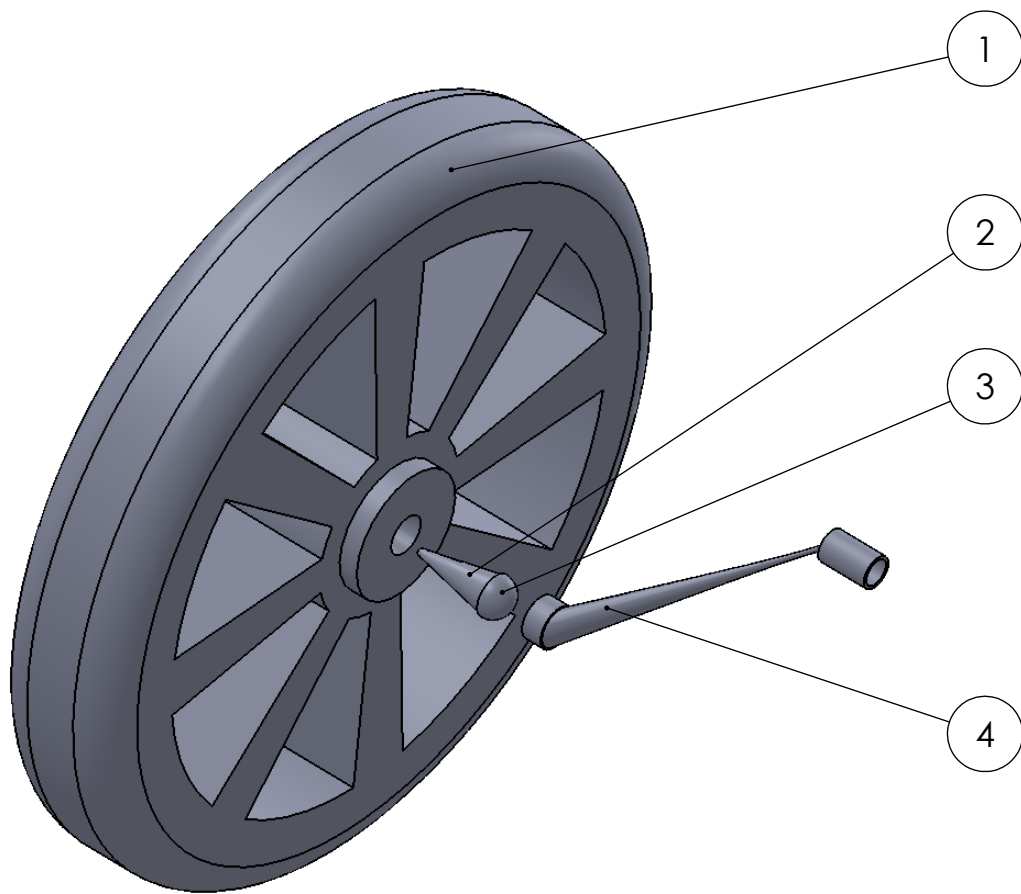


2	1	Soporte	6.1.8.2.	
1	2	Cámara HD	6.1.8.1.	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	REFERENCIA	MATERIAL

**AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO**

	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene	
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil	
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		
<b>ESCALA:</b>	Conjunto: Plano de conjunto		Nº P.: 6.5.1.
1:1	Título: AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN		Nom. Arch: Planos

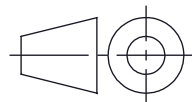




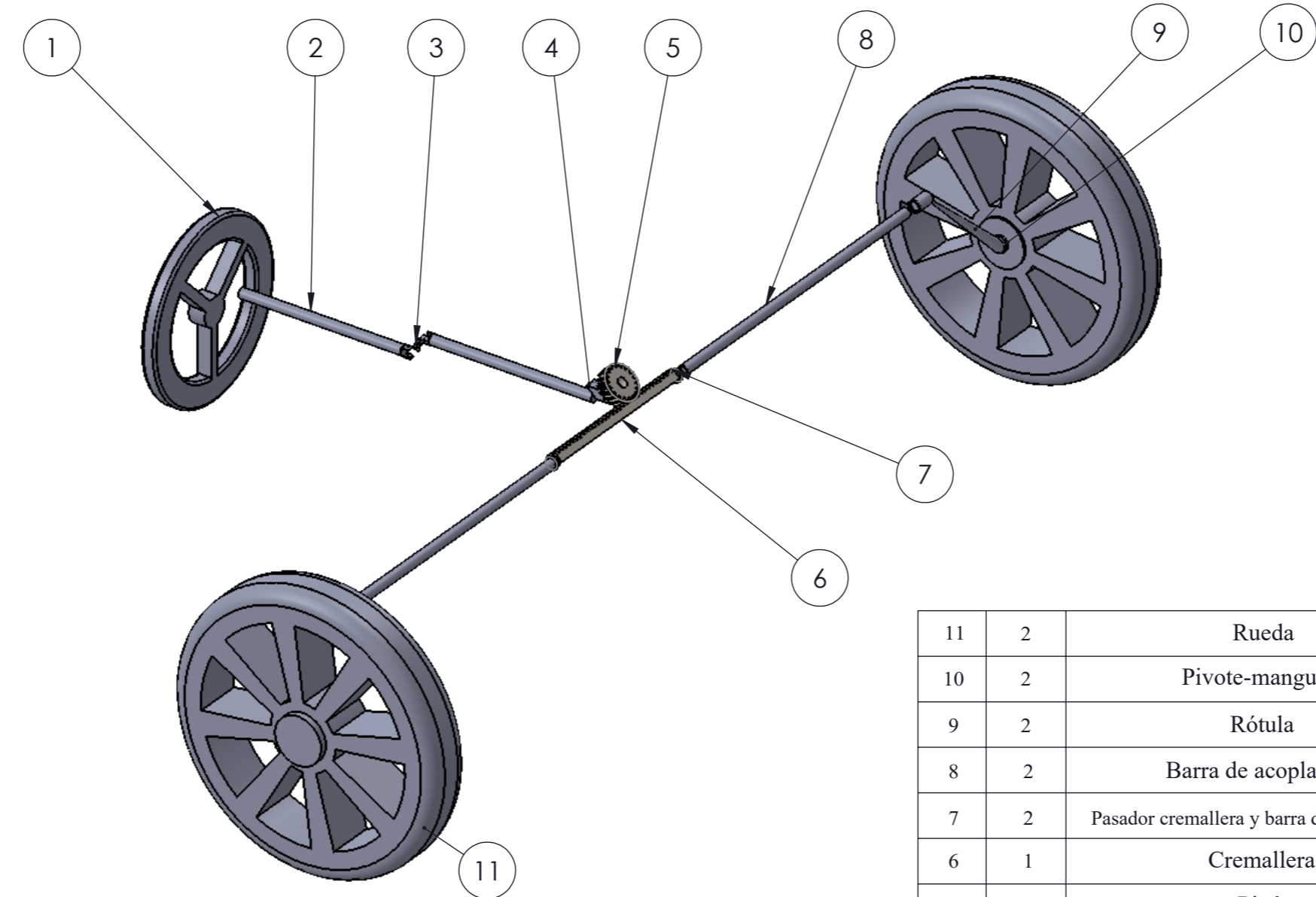
4	2	Rótula	6.3.10.	
3	2	Pivote	6.3.9.	
2	2	Mangueta	6.3.9.	
1	2	Rueda	6.3.11.	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	REFERENCIA	MATERIAL

**AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO**

	Fecha	Autor	 <b>ULL</b> Universidad de La Laguna	<b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b>  <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene		
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil		
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN			
<b>ESCALA:</b>	Conjunto:		<b>Plano de conjunto</b>	Nº P.: 6.5.2.
1:5	Título:		<b>AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN</b>	Nom. Arch: Planos





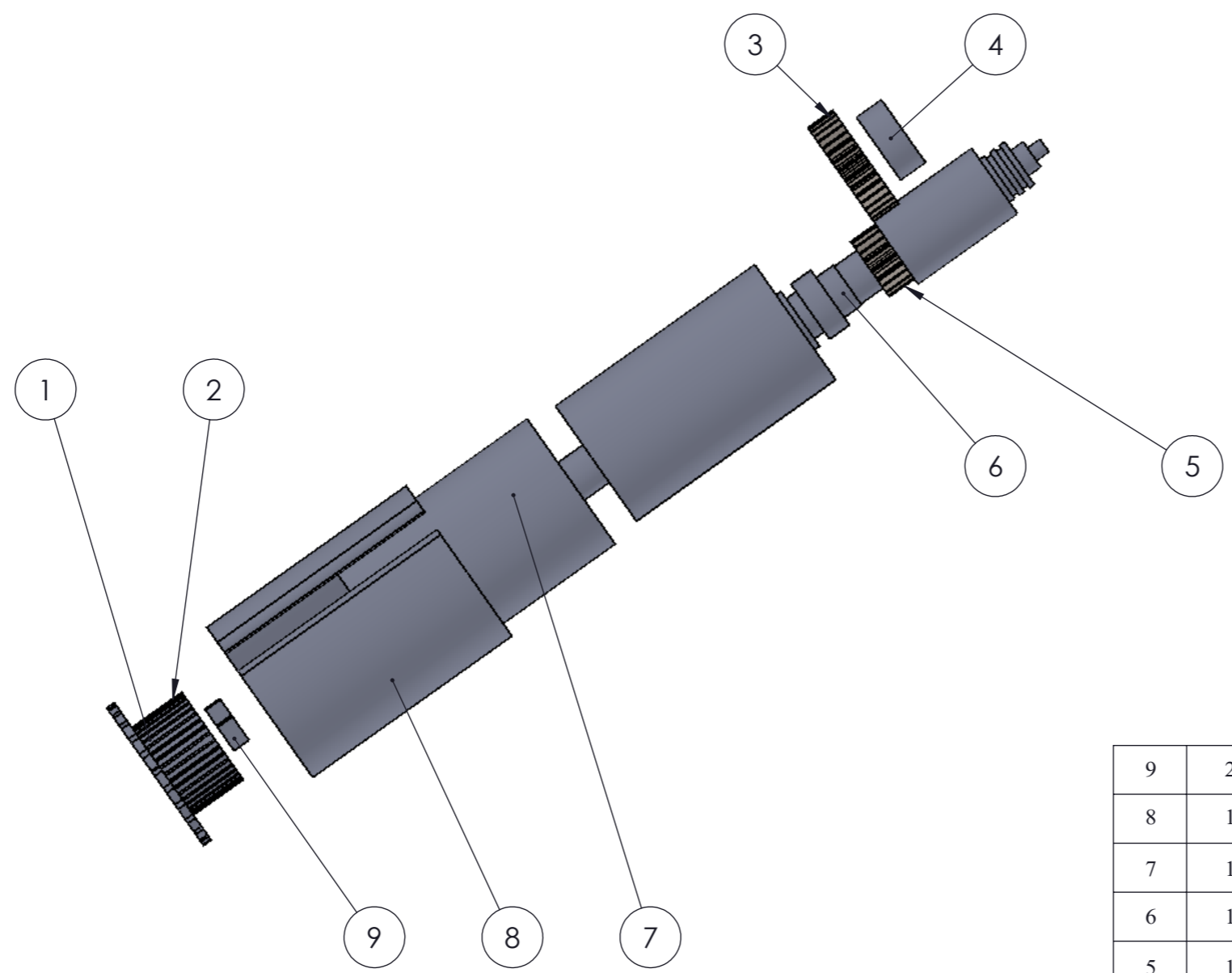


11	2	Rueda	6.3.11.	
10	2	Pivote-mangueta	6.3.9.	
9	2	Rótula	6.3.10.	
8	2	Barra de acoplamiento	6.3.8.	
7	2	Pasador cremallera y barra de acoplamiento	6.3.7.	
6	1	Cremallera	DIN 3972	
5	1	Piñón	DIN 3972	
4	1	Pasador columna de dirección y piñón	6.3.4.	
3	1	Junta cardán	6.3.3.	
2	2	Columna de dirección	6.3.2.	
1	1	Volante	6.3.1.	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	REFERENCIA	MATERIAL

**AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO**

	Fecha	Autor	 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene	
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil	
<i>Id. s. normas</i>		UNE-EN-DIN	

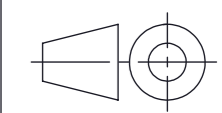
<b>ESCALA:</b> 1:20	Conjunto: Plano de conjunto	Nº P.: 6.4.1  Nom. Arch: Planos	
	Título: SISTEMA DE DIRECCIÓN		

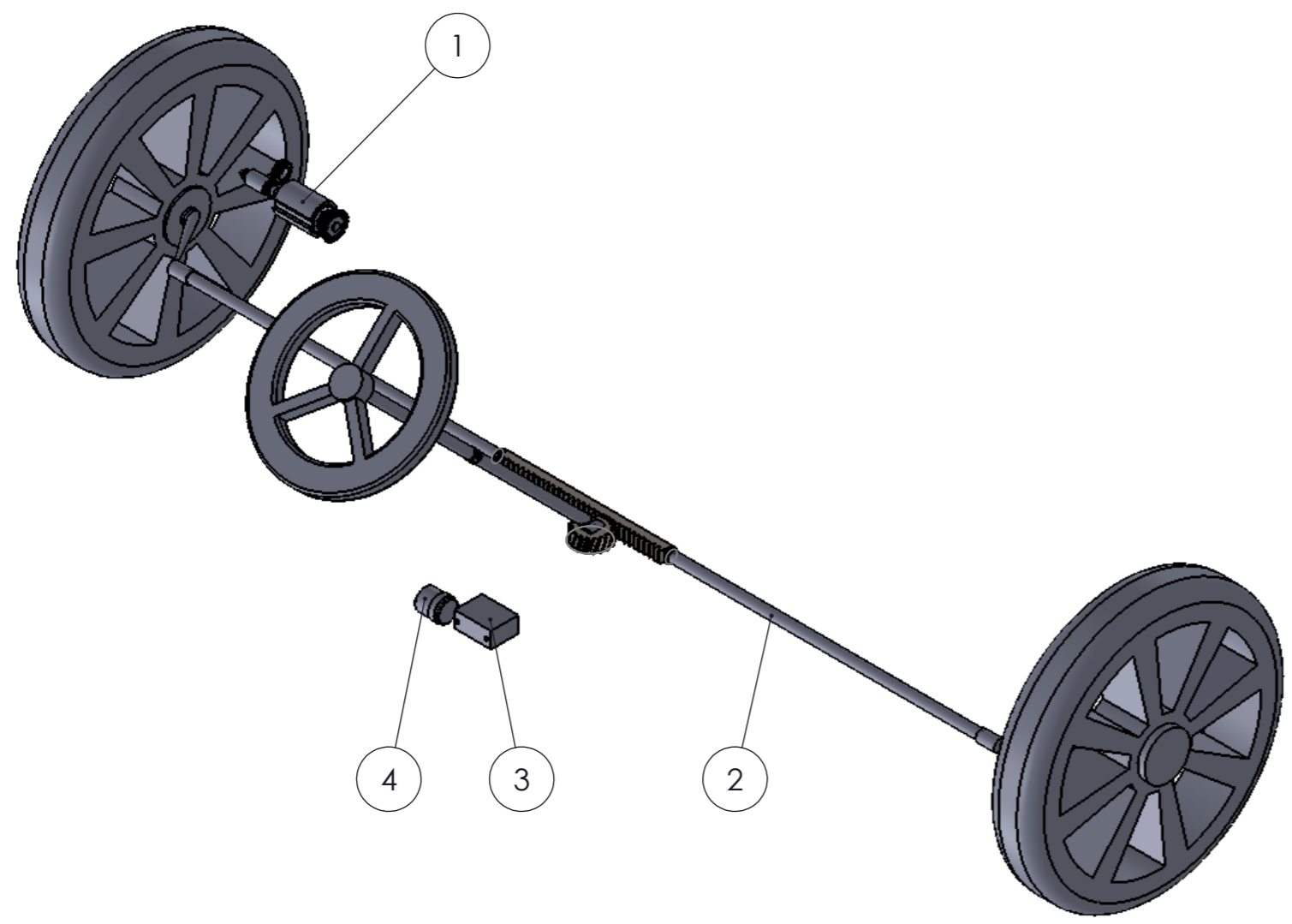


9	2	Escobilla	6.4.8.	
8	1	Bobina de campo	6.4.6.	
7	1	Armazón	6.4.5.	
6	1	Eje	6.4.1.	
5	1	Piñón Bénédix	DIN 3972	
4	1	Arandela de sujeción	6.4.2.	
3	1	Volante motor	DIN 3972	
2	1	Conmutador	6.4.7.	
1	40	Delga	6.4.7.	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	REFERENCIA	MATERIAL

**AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO**

	Fecha	Autor	 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL</b> Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	MARZO-2016	Irene	
<i>Comprobado</i>		Madrazo Ramil	
<i>Id. s. normas</i>		UNE-EN-DIN	

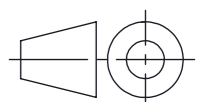
ESCALA:	Conjunto:	Plano de conjunto	Nº P.: 6.5.4.	
	1:2	Título:	ACOPLE Y DESACOPLE	



4	1	Relé	6.4.9.	
3	1	Batería	6.4.10.	
2	1	Sistema de dirección	6.5.3.	
1	1	Motor de acople y desacople	6.5.4.	
MARCA	NºPIEZAS	DENOMINACIÓN Y CARACTERÍSTICAS	REFERENCIA	MATERIAL

**AUTOMATIZACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE UN VEHÍCULO NO TRIPULADO**

	Fecha	Autor	 <b>UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA</b> ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
Dibujado	MARZO-2016	Irene	
Comprobado		Madrazo Ramil	
Id. s. normas		UNE-EN-DIN	

ESCALA:	Conjunto:	Plano de conjunto	Nº P.: 6.5.5.	
	Título:	ACOPLE Y DESACOPLE	Nom. Arch: Planos	