

# ÍNDICE

<b>Figuras</b> .....	<b>7</b>
<b>Capítulo 1: Introducción y motivación del proyecto</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1.- Introducción histórica</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2.- Equipos de medición</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2.1.- Distintos tipos de anemómetros</b> .....	<b>15</b>
1.2.1.1.- Anemómetro de copelas.....	<b>15</b>
1.2.1.2.- Veleta.....	<b>16</b>
1.2.1.3.- Anemómetro de hilo caliente.....	<b>16</b>
1.2.1.4.- Anemómetro sónico.....	<b>16</b>
<b>1.2.2.- Anemómetros comerciales</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3.- Fundamentos de ultrasonidos</b> .....	<b>19</b>
<b>1.3.1.- Introducción a ultrasonidos</b> .....	<b>19</b>
<b>1.3.2.- Velocidad del sonido en el aire</b> .....	<b>21</b>
<b>1.4.- Motivación del proyecto</b> .....	<b>23</b>
<b>Capítulo 2: Idea básica de funcionamiento</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.- Situación sin viento</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2.- Situación con viento</b> .....	<b>26</b>
<b>Capítulo 3: Objetivo inicial</b> .....	<b>28</b>
<b>Capítulo 4: Hardware</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1.- Esquema final</b> .....	<b>32</b>
<b>4.2.- Sensores</b> .....	<b>33</b>
<b>4.3.- Amplificadores</b> .....	<b>35</b>
<b>4.3.1.- INA166</b> .....	<b>36</b>
<b>4.3.2.- INA331</b> .....	<b>38</b>
<b>4.3.3.- Referencias de tensión: Philips 5532</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4.- PIC</b> .....	<b>40</b>
<b>4.4.1.- Descripción general</b> .....	<b>40</b>
<b>4.4.2.- Módulo CCP (Capture/Compare/PWM Module)</b> .....	<b>42</b>
<b>4.4.3.- Timers</b> .....	<b>44</b>
<b>4.4.4.- Módulo de transmisión serie</b> .....	<b>45</b>
<b>4.5.- Multiplexores y switches</b> .....	<b>47</b>
<b>4.5.1.- Multiplexores</b> .....	<b>47</b>
<b>4.5.2.- Switches</b> .....	<b>48</b>
<b>4.6.- Diagrama de señales final</b> .....	<b>49</b>
<b>4.7.- Adaptación RS-232</b> .....	<b>51</b>
<b>4.7.1.- Comunicaciones serie</b> .....	<b>51</b>
<b>4.7.2.- MAX232</b> .....	<b>53</b>

<b>Capítulo 5: Pasos hasta la solución final</b> .....	<b>54</b>
<b>5.1.- Sensores</b> .....	<b>55</b>
<b>5.1.1.- Modelo analítico equivalente del transceptor</b> .....	<b>55</b>
<b>5.1.2.- Transceptores piezoeléctricos comerciales</b> .....	<b>57</b>
5.1.2.1.- Prowave 400ST/R160.....	<b>60</b>
5.1.2.2.- muRata MA40MC10-1B.....	<b>61</b>
5.1.2.3.- muRata MA40E7R/S.....	<b>62</b>
<b>5.1.3.- Razones que llevaron a la elección del 400EP250</b> .....	<b>63</b>
<b>5.1.4.- Resultados experimentales del transceptor escogido</b> .....	<b>64</b>
<b>5.2.- Amplificadores</b> .....	<b>65</b>
<b>5.2.1.- Características buscadas</b> .....	<b>66</b>
<b>5.2.2.- Razonamiento de la solución escogida</b> .....	<b>67</b>
5.2.2.1.- Etapa de amplificación.....	<b>67</b>
5.2.2.2.- Etapa de comparación.....	<b>69</b>
<b>5.3.- Cambios no previstos durante la realización</b> .....	<b>71</b>
<b>5.3.1.- Cambio de base</b> .....	<b>72</b>
<b>5.3.2.- Adición de más elementos</b> .....	<b>75</b>
5.3.2.1.- Multiplexores.....	<b>75</b>
5.3.2.2.- Switches.....	<b>78</b>
<b>Capítulo 6: Software</b> .....	<b>81</b>
<b>6.1.- Pcad</b> .....	<b>82</b>
<b>6.2.- Compilador</b> .....	<b>83</b>
<b>6.3.- LabView</b> .....	<b>84</b>
<b>Capítulo 7: Método de cálculo</b> .....	<b>85</b>
<b>7.1.- Introducción</b> .....	<b>86</b>
<b>7.2.- Procedimiento de medida</b> .....	<b>87</b>
7.2.1.- Calculo de la dirección.....	<b>90</b>
7.2.2.- Calculo de la velocidad.....	<b>91</b>
<b>7.3.- Fuentes y causas de errores</b> .....	<b>95</b>
7.3.1.- Errores Hardware.....	<b>96</b>
7.3.2.- Errores Software.....	<b>97</b>
<b>Capítulo 8: Resultado final</b> .....	<b>98</b>
<b>8.1.- Placa resultado</b> .....	<b>99</b>
<b>8.2.- Valores de pruebas</b> .....	<b>100</b>
8.2.1.- Prueba de estabilidad de resultados.....	<b>100</b>
8.2.2.- Prueba de aceleración-deceleración.....	<b>101</b>
8.2.3.- Prueba de ángulos.....	<b>103</b>
8.2.4.- Niveles medios constantes.....	<b>104</b>
<b>8.3.- Código fuente</b> .....	<b>105</b>
<b>8.4.- LabView. Representación de resultados</b> .....	<b>107</b>
<b>8.5.- Comparativa de precios</b> .....	<b>111</b>
<b>8.6.- Conclusiones</b> .....	<b>112</b>

---

<b>Capítulo 9: Posibles mejoras. Líneas de estudio futuras</b> .....	<b>113</b>
<b>9.1.- Uso de más elementos internos del PIC</b> .....	<b>115</b>
<b>9.1.1.- Uso del comparador interno del PIC</b> .....	<b>115</b>
<b>9.1.2.- Uso de la tensión de referencia</b> .....	<b>115</b>
<b>9.2.- Mejor montaje</b> .....	<b>116</b>
<b>9.3.- Calculo del tiempo residual</b> .....	<b>117</b>
<b>9.4.- Medición de la temperatura</b> .....	<b>119</b>
<b>9.5.- Filtrado de muestras</b> .....	<b>120</b>
<b>Capítulo 10: Bibliografía</b> .....	<b>122</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>124</b>
<b>Anexo 1.- Código fuente</b> .....	<b>125</b>
<b>Anexo 2.- Placa pcb</b> .....	<b>135</b>