

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>2</b>
<b>Capítulo 1 - Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Motivación .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Equipos comerciales para la realización de ensayos mecánicos <i>in situ</i>.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Equipos desarrollados en la División Física de Metales para ensayos mecánicos <i>in situ</i> .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.a Platina de ensayos monotónicos .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.b Platina de ensayos monotónicos accionada por monocristales de CuZnAl .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.c Rediseño de la platina de ensayos monotónicos accionada por actuador de NiTi .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.d Platina para ensayos de fatiga.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3 Ensayos <i>in situ</i> realizados por otros grupos de trabajo.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4 Parámetros característicos de un ensayo de fatiga.....</b>	<b>20</b>
<b>1.5 Objetivos.....</b>	<b>22</b>
<b>1.6 Organización del texto.....</b>	<b>23</b>
<b>Capítulo 2 - Características generales del diseño .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1 Requerimientos globales del diseño .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2 Esquema de funcionamiento .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.a Subsistema mecánico .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.b Subsistema de sensores.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.c Subsistema de control .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.d Subsistema de interfaz de usuario.....</b>	<b>27</b>
<b>Capítulo 3 - Reevaluación de actuadores.....</b>	<b>28</b>

<b>3.1 Actuadores lineales .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1.a Piezoeléctricos. ....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.a.i Piezoeléctricos apilados.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.a.ii Actuadores “Piezowalk”.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.a.iii Piezoeléctricos Bimorph.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.b Magnetoestrictivos.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1.c Solenoide. ....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.d Hidráulicos. ....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.e Neumáticos.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.f Bobinas de voz. ....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Actuadores rotativos.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.a Eléctricos de corriente alterna.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.b Eléctricos de corriente continua.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.c Piezoeléctricos. ....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.d Motores paso a paso. ....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.e Servomecanismos. ....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.f Motores neumáticos. ....</b>	<b>42</b>
<b>3.3 Comparación de actuadores principales .....</b>	<b>42</b>
<b>3.4 Ubicación del actuador para uso en SEM .....</b>	<b>43</b>
<b>3.5 Elección del actuador .....</b>	<b>45</b>
<b>Capítulo 4 - Estructura mecánica .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1 Componentes integrados en la etapa de Proyecto Integrador .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1.a Actuador .....</b>	<b>47</b>
<b>4.1.b Cuña.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1.c Dado .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1.d Platina .....</b>	<b>49</b>
<b>4.2 Piezas mecanizadas durante la etapa de Maestría.....</b>	<b>49</b>

<b>4.2.a Cuña .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.b Apoyos .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.c Acople entre la celda y la muestra .....</b>	<b>51</b>
<b>4.2.d Apoyo de la platina.....</b>	<b>51</b>
<b>4.3 Estructura mecánica final.....</b>	<b>54</b>
<b>Capítulo 5 - Desarrollo del control electrónico .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1 Programación de micro-controlador en placa comercial.....</b>	<b>58</b>
<b>5.2 Diseño de un sistema embebido personalizado .....</b>	<b>60</b>
<b>5.3 Programación de micro-controlador en un sistema embebido.....</b>	<b>60</b>
<b>    5.3.a Interrupciones .....</b>	<b>63</b>
<b>    5.3.b Comunicación con la PC .....</b>	<b>64</b>
<b>5.4 Programa de interfaz de usuario.....</b>	<b>66</b>
<b>    5.4.a Lectura de las entradas y conversión.....</b>	<b>67</b>
<b>    5.4.b Presentación de las lecturas.....</b>	<b>68</b>
<b>    5.4.c Identificación de picos y almacenamiento en un archivo.....</b>	<b>69</b>
<b>    5.4.d Comunicación de instrucciones al micro-controlador.....</b>	<b>69</b>
<b>    5.4.e Cálculo de tensiones.....</b>	<b>70</b>
<b>    5.4.f Interfaz creada.....</b>	<b>70</b>
<b>5.5 Circuitos electrónicos diseñados.....</b>	<b>74</b>
<b>    5.5.a Placa de control.....</b>	<b>74</b>
<b>        5.5.a.i Celda de carga.....</b>	<b>75</b>
<b>        5.5.a.ii Control de la fuente de corriente .....</b>	<b>79</b>
<b>        5.5.a.iii Comunicación con la computadora. ....</b>	<b>80</b>
<b>        5.5.a.iv Conversor analógico-digital.....</b>	<b>80</b>
<b>    5.5.b Fuente de corriente.....</b>	<b>80</b>
<b>5.6 Gabinete finalizado.....</b>	<b>83</b>
<b>Capítulo 6 - Optimización de la respuesta del actuador .....</b>	<b>85</b>

<b>6.1 Problemas de histéresis y fricción .....</b>	<b>85</b>
<b>6.2 Ajuste de constantes del control PI .....</b>	<b>89</b>
<b>Capítulo 7 - Ensayos .....</b>	<b>91</b>
<b>    7.1 Ensayos con cuña 5.2º.....</b>	<b>91</b>
<b>    7.1.a Ensayos controlados por desplazamiento.....</b>	<b>91</b>
<b>    7.1.b Ensayos controlados por carga.....</b>	<b>95</b>
<b>    7.2 Ensayos con cuña de 17º.....</b>	<b>97</b>
<b>    7.3 Ubicación de la platina en un microscopio óptico.....</b>	<b>99</b>
<b>Capítulo 8 - Aplicación a ensayos de fretting.....</b>	<b>102</b>
<b>    8.1 Ensayos de evaluación .....</b>	<b>103</b>
<b>    8.2 Modificación de interfaz de usuario.....</b>	<b>108</b>
<b>Capítulo 9 - Conclusiones.....</b>	<b>112</b>
<b>Anexo A - Control de platina para ensayos de monotónicos .....</b>	<b>114</b>
<b>    A.1 Sistemas principales.....</b>	<b>114</b>
<b>    A.2 Selección de actuador para la platina de ensayos monotónicos.....</b>	<b>115</b>
<b>    A.3 Electrónica de control.....</b>	<b>116</b>
<b>        A.3.a Primer prototipo de control.....</b>	<b>116</b>
<b>        A.3.b Prototipo final de control.....</b>	<b>117</b>
<b>        A.3.c Alimentación unipolar .....</b>	<b>117</b>
<b>        A.3.d Gabinete finalizado.....</b>	<b>118</b>
<b>    A.4 Diseño de un puente H.....</b>	<b>120</b>
<b>        A.4.a Velocidad de operación .....</b>	<b>120</b>
<b>        A.4.b Modo de control .....</b>	<b>122</b>
<b>        A.4.c Diseño de puente H .....</b>	<b>122</b>
<b>        A.4.d Uso de puente H comercial .....</b>	<b>125</b>
<b>    A.5 Avance del diseño.....</b>	<b>126</b>
<b>Anexo B - Sensores empleados.....</b>	<b>127</b>

<b>B.1 Celdas de carga.....</b>	<b>127</b>
<b>B.2 LVDT y sensores de desplazamiento.....</b>	<b>127</b>
<b>B.3 Termocuplas .....</b>	<b>128</b>
<b>Anexo C - Dispositivos de observación .....</b>	<b>130</b>
<b>C.1 Microscopio electrónico de barrido.....</b>	<b>130</b>
<b>C.2 Microscopio óptico compuesto.....</b>	<b>133</b>
<b>C.3 Lupa estereoscópica .....</b>	<b>134</b>
<b>C.4 Microscopio confocal láser de barrido.....</b>	<b>134</b>
<b>Anexo D - Programación mediante micro-controladores .....</b>	<b>136</b>
<b>    9.1.a Estructura de programación de un ATMega 328.....</b>	<b>137</b>
<b>Anexo E - Control mediante algoritmo PID.....</b>	<b>140</b>
<b>Anexo F - Circuitos eléctricos construidos .....</b>	<b>145</b>
<b>    F.1 Platina de fatiga.....</b>	<b>145</b>
<b>        F.1.a Fuente de corriente.....</b>	<b>145</b>
<b>        F.1.b Placa de control .....</b>	<b>150</b>
<b>    F.2 Platina de ensayos monotónicos .....</b>	<b>159</b>
<b>        F.2.a Placa de control .....</b>	<b>159</b>
<b>Anexo G - Conocimientos adquiridos .....</b>	<b>170</b>
<b>Anexo H - Amplificadores de instrumentación.....</b>	<b>171</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>173</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>174</b>
<b>Anexo I - Planos de platina de fatiga .....</b>	<b>179</b>
<b>    I.1 Planos elaborados durante la etapa de Proyecto Integrador .....</b>	<b>179</b>
<b>    I.2 Planos elaborados durante la etapa de Maestría .....</b>	<b>184</b>
<b>Anexo J - Hojas de datos .....</b>	<b>188</b>
<b>    J.1 Platina de fatiga .....</b>	<b>188</b>
<b>        J.1.a Actuador .....</b>	<b>188</b>

<b>J.1.b Celda de carga.....</b>	<b>192</b>
<b>J.2 Platina de ensayos monotónicos .....</b>	<b>193</b>
<b>J.2.a Controlador PWM comercial .....</b>	<b>193</b>
<b>Anexo K - Manual del usuario de platina de fatiga.....</b>	<b>197</b>
<b>Anexo L - Programación del micro-controlador .....</b>	<b>221</b>
<b>L.1 Programa para control de platina de fatiga o fretting. ....</b>	<b>221</b>
<b>L.1.a Programa principal.....</b>	<b>221</b>
<b>L.2 Librerías auxiliares .....</b>	<b>231</b>
<b>L.2.a Adquisición .....</b>	<b>231</b>
<b>L.2.b Comunicación SPI.....</b>	<b>235</b>
<b>L.2.c Configuración Timers .....</b>	<b>236</b>
<b>L.2.d Funciones Auxiliares.....</b>	<b>237</b>
<b>L.2.e Librería para el cálculo del control PI .....</b>	<b>239</b>
<b>L.3 Programa para control de platina de tracción.....</b>	<b>241</b>
<b>Anexo M - Programa de interfaz con usuario.....</b>	<b>247</b>
<b>M.1 Platina de fatiga.....</b>	<b>247</b>
<b>M.2 Platina de fretting .....</b>	<b>281</b>
<b>M.3 Platina de tracción .....</b>	<b>286</b>