

# Contenido

---

<b>CONTENIDO .....</b>	<b>4</b>
<b>1. PRESENTACIÓN .....</b>	<b>8</b>
1.1 Introducción.....	8
1.2 Vibraciones y análisis modal .....	9
1.3 Necesidad de estudios dinámicos.....	10
1.4 Objetivo del proyecto.....	15
<b>2. INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DINÁMICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 Introducción.....	17
2.2 <b>Sistemas de un grado de libertad .....</b>	<b>18</b>
2.2.1 Sistemas no amortiguados.....	18
2.2.2 Sistemas amortiguados.....	19
2.2.2.1 Amortiguamiento viscoso .....	20
2.2.2.2 Amortiguamiento estructural .....	22
2.2.3 Representación de la respuesta en frecuencia .....	23
2.3 <b>Sistemas de varios grados de libertad .....</b>	<b>24</b>
2.3.2 Vibraciones no amortiguadas libres.....	24
2.3.3 Propiedades de ortogonalidad.....	25
2.3.4 Vibraciones no amortiguadas excitadas .....	26
2.3.5 Vibraciones libres amortiguadas. Matriz de amortiguamiento proporcional.....	27
2.3.6 Vibraciones amortiguadas excitadas .....	27
<b>3. ANÁLISIS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.....</b>	<b>31</b>
3.1 Introducción.....	31
3.2 Análisis de Fourier.....	32
3.3 Fast Fourier Transform (FFT) .....	35
3.4 <b>Conceptos relacionados .....</b>	<b>37</b>
3.4.1 Aliasing.....	38
3.4.2 Leakage .....	38
3.4.3 Ventanas .....	39
3.4.4 Filtros .....	41
<b>4. INSTRUMENTOS EN VIBRACIÓN .....</b>	<b>43</b>
4.1 Introducción.....	43

<b>4.2</b>	<b>Acelerómetros.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3</b>	<b>Sistemas de excitación .....</b>	<b>46</b>
<b>4.4</b>	<b>Analizador .....</b>	<b>48</b>
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS MODAL EXPERIMENTAL .....</b>	<b>49</b>
<b>5.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>49</b>
<b>5.2</b>	<b>Preparación del ensayo .....</b>	<b>50</b>
<b>5.3</b>	<b>Adquisición de datos y estimación de FRF .....</b>	<b>55</b>
<b>5.4</b>	<b>Extracción de parámetros modales .....</b>	<b>57</b>
5.4.1	Métodos en el dominio de la frecuencia .....	59
5.4.1.1	Métodos SDOF en frecuencia.....	59
5.4.1.1.1	Peak Peaking .....	59
5.4.1.1.2	Método Ajuste a círculo.....	61
5.4.1.1.3	Residuos de modos lejanos.....	63
5.4.1.2	Métodos MDOF en frecuencia .....	64
5.4.1.2.1	Aproximación general de ajuste a círculo .....	64
5.4.1.2.2	Cálculo de los modos de vibración.....	65
5.4.2	Métodos en el dominio del tiempo .....	66
5.4.2.1	Complex Exponential Method.....	66
<b>5.5</b>	<b>Validación .....</b>	<b>69</b>
5.5.1	Síntesis de FRFs.....	70
5.5.2	MAC (Modal Assurance Criterion) y MSF (Modal Scale Factor).....	70
5.5.3	Participación modal .....	72
5.5.4	Reciprocidad .....	73
<b>6</b>	<b>APLICACIÓN PRÁCTICA.....</b>	<b>74</b>
<b>6.1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>74</b>
<b>6.2</b>	<b>Análisis teórico.....</b>	<b>75</b>
6.2.1	Solución analítica .....	76
6.2.2	Solución numérica.....	80
<b>6.3</b>	<b>Análisis experimental.....</b>	<b>83</b>
6.3.1	Excitador Modal. Martillo instrumentado .....	83
6.3.1.1	Comprobación de datos adquiridos. Martillo Instrumentado .....	84
6.3.1.2	Extracción de parámetros modales. Martillo Instrumentado.....	89
6.3.1.2.1	Parámetros modales dirección A. Martillo Instrumentado .....	90
6.3.1.2.1.1	Validación modal dirección A. Martillo Instrumentado .....	94
6.3.1.2.2	Parámetros modales dirección B. Martillo Instrumentado .....	96
6.3.1.2.2.1	Validación modal dirección B. Martillo Instrumentado .....	99
6.3.2	Excitador Modal. Mesa vibrante.....	102
6.3.2.1	Análisis modal experimental dirección A. Mesa vibrante .....	103

6.3.2.2	Análisis modal experimental dirección B. Mesa vibrante .....	105
<b>6.4</b>	<b>Correlación entre resultados teóricos y experimentales.....</b>	<b>107</b>
6.4.1	Correlación resultados teóricos y experimentales dirección A.....	107
6.4.2	Correlación resultados teóricos y experimentales dirección B.....	109
6.4.3	Resultados y conclusiones de la correlación.....	112
<b>6.5</b>	<b>Mejora del modelo.....</b>	<b>115</b>
<b>6.6</b>	<b>Modelo analítico final .....</b>	<b>119</b>
<b>6.7</b>	<b>Modelado de tensiones en el modelado final.....</b>	<b>124</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>.....</b>	<b>126</b>
<b>CÁLCULOS PREVIOS .....</b>	<b>.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>.....</b>	<b>129</b>
<b>APROXIMACIÓN DISEÑO DE LA BASE1 DE LA BARRA.....</b>	<b>.....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO C .....</b>	<b>.....</b>	<b>135</b>
<b>PLANOS DE LOS ELEMENTOS DISEÑADOS.....</b>	<b>.....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>.....</b>	<b>139</b>
<b>TEST VIRTUAL DE LA APLICACIÓN PRÁCTICA. MARTILLO INSTRUMENTADO</b>	<b>.....</b>	<b>139</b>
<b>D1. Objetivos.....</b>	<b>.....</b>	<b>139</b>
<b>D2. Consideraciones previas al ensayo .....</b>	<b>.....</b>	<b>140</b>
D2.1	Condiciones de contorno .....	140
D2.2	Banda de frecuencias a excitar .....	141
D2.3	Sistemas de adquisición usados.....	141
<b>D3. Cálculos previos al ensayo.....</b>	<b>.....</b>	<b>143</b>
<b>D4. Asignación en la barra .....</b>	<b>.....</b>	<b>148</b>
<b>D5. Resumen de datos.....</b>	<b>.....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO E .....</b>	<b>.....</b>	<b>152</b>

<b>TEST VIRTUAL DE LA APLICACIÓN PRÁCTICA. MESA VIBRANTE .....</b>	<b>152</b>
<b>E1. Teoría necesaria .....</b>	<b>152</b>
<b>E2. Objetivos.....</b>	<b>153</b>
<b>E3. Consideraciones previas al ensayo .....</b>	<b>154</b>
E1. Condiciones de contorno .....	154
E2. Banda de frecuencias a excitar .....	154
E3. Sistemas de adquisición usados.....	155
<b>E4. Cálculos previos al ensayo.....</b>	<b>155</b>
<b>E5. Procedimiento.....</b>	<b>158</b>
<b>ANEXO F .....</b>	<b>159</b>
<b>PROGRAMAS MATLAB.....</b>	<b>159</b>
<b>F1. Calculosprevios.m .....</b>	<b>160</b>
<b>F2. Frecuenciasbarranalitico.m .....</b>	<b>161</b>
<b>F3. Frecuenciasbarramatrices.m .....</b>	<b>162</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>164</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>167</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>168</b>