

Índice

1	Introducción y objetivos	6
2	Fundamentos teóricos.....	7
2.1	Teoría de las uniones atornilladas.....	7
2.1.1	Presentación de las uniones atornilladas.....	7
2.1.2	Par de apriete, autorretención y rendimiento	9
2.1.3	Dimensionados de tornillos sujetos a cargas estáticas	18
2.1.4	Comportamiento de uniones pretensadas antes fuerzas separadoras	27
2.2	Teoría de extensometría.....	33
2.2.1	Fundamentos de extensometría.....	33
2.2.2	Aparatos de medida. El puente de Wheatstone.....	38
3	Diseño de la unión atornillada para la práctica	40
3.1	Diseño de los elementos mecánicos.....	40
3.1.1	Elementos de unión	40
3.1.2	Piezas unidas y método de aplicación de la fuerza separadora	41
3.1.3	Ustillaje de conexión de la unión atornillada a la máquina de tracción.....	47
3.1.4	Montaje completo	49
3.2	Circuito extensométrico.....	50
4	Cálculo del comportamiento de la unión atornillada.....	52
4.1	Calculo del par de apriete para una tensión determinada	52
4.2	Modelos teóricos de los elementos de la unión atornillada.....	55
4.2.1	Modelo para la rigidez del tornillo.....	55
4.2.2	Modelo para la rigidez de las piezas unidas	57
4.2.3	Modelo de esfuerzos en la unión atornillada ante una fuerza separadora	58
4.2.4	Otros modelos para la rigidez de las piezas unidas	64
4.3	Modelos de elementos finitos para la rigidez de los elementos.....	65
4.3.1	Cálculo de la rigidez del tornillo mediante los desplazamientos del MEF	69
4.3.2	Cálculo de la rigidez de los casquillos mediante los desplazamientos del MEF ..	70

5	Guión de las prácticas para el alumno	73
5.1	Primera parte de la práctica.....	73
5.1.1	Cálculos previos a la primera parte de la práctica	73
5.1.2	Calibración del circuito extensométrico.....	73
5.1.3	Ensayo de Par de apriete-Fuerza de apriete.	74
5.2	Segunda parte de la práctica.....	75
5.2.1	Cálculos previos a la segunda parte de la práctica	75
5.2.2	Calibración del circuito extensométrico.....	76
5.2.3	Ensayo de la unión atornillada ante una fuerza separadora.....	76
5.2.4	Comparación de los resultados teóricos y los obtenidos en los ensayos.	78
6	Caracterización experimental de la unión atornillada	79
6.1	Calibración del circuito extensométrico	79
6.2	Ensayo de Par de apriete-Fuerza de apriete.	81
6.2.1	Par aplicado sin ninguna lubricación.....	82
6.2.2	Par aplicado con lubricación en las superficies	82
6.2.3	Par aplicado con lubricación en la rosca	83
6.2.4	Par aplicado con lubricación en la rosca y en las superficies de contacto	84
6.2.5	Estimación de los coeficientes de rozamiento	85
6.2.6	Conclusiones.....	86
6.3	Ensayos de aplicación de distintas fuerzas separadoras a la unión pretensada	86
6.3.1	Fuerza separadora aplicada en la zona exterior	86
6.3.2	Fuerza separadora aplicada en la zona media.....	91
6.3.3	Fuerza separadora aplicada en la zona interior.....	95
6.3.4	Conclusiones.....	98
	Agradecimientos.....	101
	Bibliografía	102

Índice de figuras

Figura 1: Tipos de cabezas de tornillo.....	8
Figura 2: Rosca cuadrada	9
Figura 3: Estudio del apriete.....	10
Figura 4: Desarrollo del filete del tornillo	10
Figura 5: Sistema de fuerzas en el desarrollo del filete	11
Figura 6: Sistema de fuerzas en el desarrollo del filete en el sentido contrario	12
Figura 7: Fuerza normal en la rosca triangular	13
Figura 8: Contacto entre tuerca y piezas unidas	14
Figura 9: Rendimiento en función del ángulo de la hélice (semiángulo del filete $\beta = 14,5^\circ$).....	15
Figura 10: Comparación con el rendimiento de husillo de bolas	16
Figura 11: Distribución de carga para distintos número de filetes.....	18
Figura 12: Raíz del filete en el paso de rosca	25
Figura 13: Distintas zonas de aplicación de la fuerza separadora	27
Figura 14: Tornillo con una serie de casquillos.....	28
Figura 15: Diagrama Fuerza-deformación del tornillo y las piezas unidas.....	31
Figura 16: Diagrama Fuerza-deformación del conjunto	31
Figura 17: Distribución del esfuerzo en forma de cono	32
Figura 18: Fuerza separadora en una unión estanca	32
Figura 19: Banda adherida en la dirección de la carga	35
Figura 20: Puente de Wheatstone	38
Figura 21: Aplicación de la fuerza separadora con casquillos diferentes	42
Figura 22: Aplicación de la fuerza separadora con casquillos insertados	42
Figura 23: Aplicación de la fuerza separadora con casquillos reordenados	43
Figura 24: Casquillo roscado.....	43
Figura 25: Posibles montajes de la unión atornillada	44
Figura 26: Casquillos centrados con dos varillas	45
Figura 27: Secciones del conjunto de casquillos.....	45
Figura 28: Chapa fija tornillo	46
Figura 29: Unión atornillada.....	46
Figura 30: Sección del conjunto vástago y rótula axial	47
Figura 31: Sección del tubo roscado	48
Figura 32: Casquillo para la rótula	48
Figura 33: Distintos montajes posibles	49
Figura 34: Conjunto real fabricado	49
Figura 35: Disposición para medir deformaciones axiales en flexión compuesta.....	50
Figura 36: Montaje de medio puente	51
Figura 37: División del tornillo en cilindros simples.....	56
Figura 38: Parámetros necesario para el cálculo de rigidez de las piezas unidas	57
Figura 39: Modelo de distribución de esfuerzos en los casquillos	57
Figura 40: Montaje para aplicar la fuerza separadora desde la zona exterior.....	59
Figura 41: Actuación de la fuerza separadora en los casquillos exteriores.....	60

Figura 42: Montaje para aplicar la fuerza separadora desde la zona intermedia	61
Figura 43: Actuación de la fuerza separadora en los casquillos intermedios	61
Figura 44: Montaje para aplicar la fuerza separadora desde la zona interior	62
Figura 45: Actuación de la fuerza separadora en los casquillos interiores	62
Figura 46: Piezas para el modelo de elementos finitos	65
Figura 47: Sección del modelo de elementos finitos	66
Figura 48: Modelado del apriete mediante una presión constante	66
Figura 49: Condiciones de contorno del modelo de elementos finitos	67
Figura 50: Malla del modelo de elementos finitos	67
Figura 51: Tensión equivalente de Von Mises	68
Figura 52: Tensión en la dirección axial	68
Figura 53: Desplazamientos en la dirección axial	68
Figura 54: Cara del tornillo en el extremo de la tuerca	69
Figura 55: Cara del tornillo en el extremo de la cabeza	69
Figura 56: Aristas del tornillo en el extremo de la tuerca y cabeza	70
Figura 57: Caras del casquillo en contacto con la tuerca y la cabeza del tornillo	71
Figura 58: Aristas del casquillo en contacto con la tuerca y la cabeza del tornillo	71

Índice de tablas

Tabla 1: Coeficiente de rozamiento para roscas cuadradas.....	17
Tabla 2: Relación entre el valor nominal del límite elástico y el valor de la resistencia a la tracción (ISO 898-1)	19
Tabla 3: Características mecánicas y físicas de los pernos, tornillos y bulones (ISO 898-1)	20
Tabla 4: Cargas de prueba para tornillos. Rosca métrica ISO de paso grueso (ISO 898-1)	21
Tabla 5: Cargas de prueba para tornillos. Rosca métrica ISO de paso fino (ISO 898-1).....	21
Tabla 6: Cargas de prueba para tuercas. Rosca métrica ISO de paso grueso (ISO 898-2)	22
Tabla 7: Cargas de prueba para tuercas. Rosca métrica ISO de paso fino (ISO 898-6)	22
Tabla 8: Sistema de designación para tuercas con alturas nominales $\geq 0.8D$ (ISO 898-2)	23
Tabla 9: Presión de contacto segura para cierto rango de velocidad.....	26
Tabla 10: Límite Fuerza (N) en el apriete para no superar la tensión admisible	53
Tabla 11: Coeficientes de rozamiento para diversos estados superficiales y de lubricación.....	53
Tabla 12: Par de apriete (N·m) para alcanzar 11120N de fuerza de apriete en función de los coeficientes de rozamiento	54
Tabla 13: Fuerzas en la unión atornillada ante distintas fuerzas separadoras.....	63