

INDICE

	Pag.
Nomenclatura	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Preámbulo	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Objetivos del proyecto	6
1.4 descripción del documento	7
2. ESTADO DEL ARTE	9
2.1 Pandeo de columnas	9
2.1.1 Columnas cargadas concéntricamente	10
2.1.2 Columnas no concéntricas.	17
2.1.3 Columnas escalonadas (con cambio de sección)	22
2.1.4 Estudios experimentales en pandeo de columnas	23
2.2 Capacidad de carga de actuadores oleohidráulicos	31
2.2.1 Norma ISO/TS 13725	32
2.2.2 Publicaciones mas relevantes	37
2.2.3 Capacidad de carga de cilindros telescópicos	45
2.3 Conclusiones	49
3. MODELO PROPUESTO	53
3.1 Ecuación genérica de la elástica	63
3.2 Ecuaciones de contorno	66
3.3 Forma matricial del modelo teórico propuesto	67
3.3.1 Cilindro oleohidráulico bi-apoyado	67
3.3.2 Cilindro oleohidráulico bi-apoyado (comportamiento real: cilindro bi-empotrado)	70
3.3.3 Cilindro empotrado – vástago apoyado.	72
3.3.4 Cilindro apoyado – vástago empotrado	72
3.4 Análisis de tensiones	75
3.5 Aplicación del modelo propuesto.	77
3.5.1 Cilindro oleohidráulico bi-apoyado (hipótesis: de comportamiento real: apoyos ideales)	80
3.5.2 Cilindro oleohidráulico bi-apoyado (hipótesis de comportamiento real: apoyos bi-empotrados).	83
3.5.3 Cilindro oleohidráulico bi-apoyado (hipótesis de comportamiento real: cilindro empotrado – vástago apoyado).	84

3.5.4	Cilindro oleohidráulico bi-apoyado (hipótesis de comportamiento real: cilindro apoyado – vástago empotrado).	85
3.5.5	Cilindro oleohidráulico bi-apoyado (hipótesis de comportamiento real: cilindro apoyado – vástago empotrado).	86
4.	MONTAJE EXPERIMENTAL	90
4.1	Descripción del banco de ensayos	90
4.2	Instrumentación	94
4.2.1	Variables medidas	94
4.2.2	Tarjetas de adquisición de datos y conexiones eléctricas	99
4.2.3	Programa de adquisición y visualización de datos.	103
4.3	Protocolo de experimentación	106
5.	RESULTADOS EXPERIMENTALES Y VALIDACION DEL MODELO PROPUESTO.	109
5.1	Capacidad de carga (prueba convencional).	109
5.1.1	Medición de tensiones a lo largo del vástago.	112
5.2	Influencia de la imperfección inicial	117
5.2.1	Deformación radial del cilindro tubo	117
5.2.2	Tolerancias y desgaste en anillos guía	123
5.3	Rozamiento en las articulaciones	127
5.3.1	Pruebas en columnas	128
5.3.2	Pruebas en cilindros oleohidráulicos	131
5.3.3	Pruebas con momentos generados en los extremos.	138
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
	REFERENCIAS	145
	ANEXOS	149
A.	NORMA ISO/TS13725, 2001. “HYDRAULIC FLUID POWER. – CYLINDERS– METHOD FOR DETERMINING THE BUCKLING LOAD”.	150
A.1	Análisis según condiciones de contorno	150
A.1.1	Cilindro apoyado – apoyado	150
A.1.2	Cilindro empotrado – vástago apoyado	154

A.1.3	Cilindro apoyado – vástago empotrado	157
A.1.4	Cilindro empotrado – vástago empotrado	159
A.1.5	Cilindro empotrado – vástago libre	162
A.1.6	Cilindro empotrado – vástago “libre” (sin rotación del punto de apoyo).	164
A.2	Algoritmos de cálculo de las cargas crítica de pandeo y máxima admisible.	167
A.2.1	Programa principal	170
A.2.2	Programación con base en los algoritmos de cálculo	175
B.	Tensiones en el cilindro debidas a la presión hidráulica	181
B.1	Tensiones en un anillo circular y en un cilindro de pared gruesa	181
B.2	Módulo de Poisson.	182
B.3	Dilatación de recipientes a presión	184
B.4	Cilindro de pared gruesa	184
B.4.1	Cilindros bajo presión interna	188
B.4.2	Deformación de un cilindro de pared gruesa	189
C.	Pruebas de rotura en cilindros	190