

Índice

1	Introducción al almacenamiento energético	3
1.1	Propósito	3
1.2	Situación actual	4
1.3	Requisitos y ventajas de los diferentes sistemas de almacenamiento energético.....	5
1.3.1	Aplicaciones de almacenamiento de la energía eléctrica.....	5
1.4	Mercado actual y potencial	7
1.4.1	Análisis de los distintos usos de almacenamiento energético.....	7
1.5	Opciones tecnológicas: soluciones de almacenamiento de energía	14
1.5.1	Soluciones y opciones de almacenamiento de energía.	14
2	Centrales hidráulicas de bombeo	36
2.1	Centrales hidroeléctricas	36
2.1.1	Central hidroeléctrica de bombeo.....	37
2.2	Descripción de la tecnología	39
2.2.1	Tipos de turbinas.....	40
2.2.2	Disposición de turbinas	41
2.2.3	Ventajas y desventajas de las centrales de bombeo. Mercado actual y aplicaciones.....	42
2.2.4	Carta de proyectos.....	43
2.2.5	Previsión tecnológica.....	45
2.3	Centrales de acumulación por bombeo	52
2.3.1	Central Tajo de la Encantada.....	52
2.3.2	Resumen de características principales.....	65
3	Cálculo de instalaciones hidráulicas en régimen estacionario y transitorio	69
3.1	Ecuación del movimiento incompresible en conductos.....	69
3.2	Resolución general de redes en régimen casiestacionario.....	70
3.3	Cálculo de instalaciones hidráulicas en régimen transitorio	72
3.4	Aplicación a la central Tajo de la Encantada	73
3.4.1	Estudio del estacionario en régimen de bombeo.....	73
3.4.2	Determinación de las curvas $H(Q,A)$ de la turbina.....	88
3.4.3	Estudio del transitorio	92
4	Efectos de compresibilidad.....	105
4.1	Movimiento no-estacionario de líquidos en conductos.....	105
4.1.1	Tiempo de cierre mucho menor que el tiempo de residencia, $t_c \sim t_r$	108
4.1.2	Apertura de válvula desde $a = 0$	115
4.2	Tratamiento numérico de la compresibilidad.	115
4.2.1	Condiciones de contorno de un esquema numérico.....	118
4.3	Aplicación a la central Tajo de la Encantada	119
4.3.1	Cierre instantáneo con fricción	119
4.3.2	Cierre no instantáneo con fricción	121
4.3.3	Cierre rápido con la turbina sin chimenea de equilibrio	124
4.3.4	Cierre rápido de la instalación completa.	125

Anexos

1	Anexos: Códigos de Matlab	131
1.1	Análisis sin efectos de compresibilidad	131
1.1.1	Análisis de funcionamiento en modo bomba	131
1.1.2	Análisis en funcionamiento modo turbina.....	142
1.2	Análisis con efectos de compresibilidad.....	151
1.2.1	Cierre instantáneo sin fricción	151
1.2.2	Cierre instantáneo con fricción	153
1.2.3	Cierre no instantáneo con fricción	155
1.2.4	Cierre no instantáneo con fricción y con turbina	157
1.2.5	Cierre no instantáneo con fricción, con turbina y con chimenea.....	162