

ÍNDICE MEMORIA

Índice memoria	1
Resumen	7
Resum.....	7
Abstract	7
Agradecimientos.....	9
Capítulo 1: Introducción	11
1.1. La necesidad de desalar agua.....	11
1.2. Desalación de agua en el mundo	13
1.2.1. Actualidad de la desalación en España.....	16
Capítulo 2: Desalación	25
2.1. Historia de la desalación	25
2.2. Proceso básico de desalación	26
2.3. Diferentes procesos de desalación	27
2.3.1. Procedimientos Térmicos	27
2.3.2. Procedimientos físico-químicos	38
2.3.3. Procedimientos Eléctricos	42
Capítulo 3: El agua a desalar	45
3.1. La salinidad del agua	46
3.2. Composición química del agua.....	47
3.2.1. Sodio	48
3.2.2. Calcio y Magnesio	48
3.2.3. Cloro.....	48
3.2.4. Sulfatos.....	49
3.2.5. Carbonatos y Bicarbonatos	49
3.2.6. Nitratos.....	50
3.2.7. Hierro y Manganeso	50
3.2.8. Sílice.....	51
3.2.9. Flúor.....	51
3.2.10. Bario y Estroncio	51
3.2.11. Aluminio.....	51
3.2.12. Gases disueltos	51

3.3.	Otros parámetros característicos	52
3.3.1.	Temperatura	52
3.3.2.	pH	52
3.3.3.	Alcalinidad	52
3.3.4.	Dureza	53
3.4.	Características generales del agua en relación con las membranas. .	53
3.4.1.	Solubilidad de las sales	54
3.5.	Características del agua según su origen	54
3.5.1.	Características del agua de mar.....	54
3.5.2.	Características de las aguas salobres	56
3.6.	Origen de los recursos hídricos	58
Capítulo 4: Osmosis Inversa		61
4.1.	Historia de la osmosis Inversa	61
4.2.	Descripción del proceso.	64
4.3.	Diferencias entre osmosis y otros procesos de membranas.	66
4.4.	Teorías de la ósmosis	68
4.5.	Ecuaciones Fundamentales	68
4.5.1.	Ecuación de flujo de Agua.....	69
4.5.2.	Ecuación del transporte de sales.....	71
4.5.3.	Rechazo de sales	71
4.5.4.	Paso de sales	71
4.5.5.	Recuperación	72
4.5.6.	Concentración del producto.....	72
4.5.7.	Concentración del rechazo	72
4.5.8.	Proporción (ratio) de reducción	73
Capítulo 5: Membranas de osmosis inversa		75
5.1.	Historia de la desalación con membranas.....	76
5.2.	Materiales de las membranas	77
5.2.1.	Acetato de celulosa	77
5.2.2.	Triacetato de celulosa	78
5.2.3.	Poliéter-urea	78
5.2.4.	Polisulfona sulfonada	78
5.2.5.	Poliamidas aromáticas.....	79
5.3.	Clasificación.....	80
5.4.	Clasificación según su estructura	81
5.4.1.	Simétricas	81

5.4.2.	Asimétricas.....	81
5.5.	Clasificación según su naturaleza.....	81
5.5.1.	Integrales.....	81
5.5.2.	Compuestas de capa fina.....	82
5.6.	Modulación y configuraciones de las membranas	83
5.6.1.	Configuración de tipo plano.....	83
5.6.2.	Configuración tubular.....	84
5.6.3.	Configuración fibra hueca	85
5.6.4.	Configuración en espiral	86
5.7.	Diferencias principales.....	89
5.7.1.	Caudal	89
5.7.2.	Presión de funcionamiento.....	89
5.7.3.	Ensuciamiento.....	90
5.7.4.	Rechazo de sales	90
5.7.5.	Pérdida de propiedades	90
5.8.	Vida útil de las membranas de osmosis inversa	91
5.9.	Parámetros técnicos.....	91
5.9.1.	Rechazo	91
5.9.2.	Presión.....	92
5.9.3.	Temperatura	92
5.9.4.	Conversión o recobro	92
5.9.5.	Factor de ensuciamiento (fouling factor).....	93
5.10.	Variación de los parámetros.....	94
5.10.1.	Con la temperatura.....	94
5.10.2.	Con la presión.....	94
5.10.3.	Con el pH	96
5.11.	Tecnología de membranas. Actualidad.....	96
5.11.1.	Tecnología de bajo ensuciamiento (LFC).....	98
5.11.2.	Otros avances tecnológicos en membranas de OI	98
Capítulo 6: Impacto medioambiental de la desalación		101
6.1.	Vertidos de salmuera	101
6.2.	Otros Vertidos	104
6.3.	Otros Impactos	105
6.4.	Soluciones adoptadas.....	106
6.5.	Ventajas e inconvenientes de la desalación	107
6.5.1.	Aspectos Positivos	107

6.5.2.	Aspectos Negativos.....	107
6.6.	Desalación con energías renovables	108
Capítulo 7: Captación o toma de agua		109
7.1.	Toma cerrada.....	110
7.2.	Tomas de agua abiertas	111
7.3.	Colectores	111
Capítulo 8: Pretratamiento del agua de aporte		113
8.1.	Tipos de atascamientos	114
8.1.1.	Atascamiento por precipitación de sales minerales.....	114
8.1.2.	Atascamiento por precipitación de óxidos metálicos	116
8.1.3.	Atascamiento por depósito de partículas en suspensión	117
8.1.4.	Atascamiento por depósito de partículas coloidales	118
8.1.5.	Atascamiento por depósito de sustancias biológicas	119
8.2.	Cloración previa	120
8.2.1.	Determinación de la dosis de hipoclorito	120
8.2.2.	Cloración del agua de mar	121
8.3.	Coagulación	121
8.3.1.	Estabilidad de las suspensiones coloidales	121
8.3.2.	Tipo de coagulante y dosis.....	123
8.4.	Filtración previa.....	124
8.4.1.	Mecanismos de filtración	124
8.4.2.	Teoría de la filtración	124
8.4.3.	Composición y características de la masa filtrante	125
8.4.4.	Lavado del filtro	126
8.5.	Microfiltración	126
8.5.1.	Características de la capa filtrante	127
8.5.2.	Regeneración del microfiltro.....	127
8.6.	Acidificación.....	127
8.6.1.	Dosis de ácido.....	128
8.7.	Adición de antiincrustante.....	128
8.7.1.	Preparación y dosificación del antiincrustante.....	129
8.8.	Decloración.....	130
8.8.1.	Decloración con bisulfito sódico	130
8.9.	Filtración de seguridad y mezclado	131
Capítulo 9: Tren de ósmosis inversa		133
9.1.	Bombeo de alta presión.....	133

9.2.	Turbina recuperadora de energía	134
9.2.1.	Características y funcionamiento de la Turbina Pelton	134
9.3.	Unidad de ósmosis inversa.....	135
9.3.1.	Descripción y funcionamiento de los módulos.....	135
9.3.2.	Elementos que incorpora la unidad de ósmosis inversa.....	135
9.4.	Regeneración y limpieza de membranas	136
9.4.1.	Elementos que configuran el sistema de lavado químico	137
9.5.	Depósito de equilibrio osmótico	138
9.6.	Otros equipos de bombeo	138
9.6.1.	Bombas de captación	138
9.6.2.	Bombas de transferencia	138
9.6.3.	Bombas de impulsión de producto	138
9.6.4.	Bombas de lavado de filtros	138
9.6.5.	Soplantes para el lavado de filtros	138
9.6.6.	Bombas de desplazamiento.....	139
9.7.	Válvulas	139
9.7.1.	Válvula de control.....	139
9.7.2.	Válvula de salmuera	139
9.7.3.	Otras válvulas	139
Capítulo 10: Postratamientos		141
10.1.	Aireación. Eliminación del CO ₂ libre	141
10.1.1.	Principio de desorción gaseosa	141
10.1.2.	Teoría de la absorción-desorción	142
10.1.3.	Características de la torre de aireación	143
10.2.	Alcalinización	144
10.3.	Pasivación	144
10.3.1.	Acción de los compuestos pasivantes	144
10.3.2.	Pasivante utilizado.....	145
10.4.	Cloración final o esterilización	145
Capítulo 11: Diseño del proceso		147
11.1.	Datos de la instalación	147
11.1.1.	Calidad final del producto	148
11.1.2.	Esquema de los procesos.....	148
11.2.	Análisis del agua de diseño	149
3.1.	Captación e impulsión de agua de mar	150
11.3.	Pretratamiento físico	150

11.4.	Pretratamiento Químico.....	152
11.5.	Proceso de Ósmosis inversa	153
11.6.	Equipos auxiliares.....	153
11.7.	Post tratamiento del agua producto	153
11.8.	Almacenamiento e impulsión del agua producto	154
11.9.	Descarga de salmuera.....	154
Capítulo 12: Recuperación energética en una planta desaladora.....		157
12.1.	Turbinas Pelton	159
12.1.1.	Rendimiento neto de transferencia de energía.....	160
12.1.2.	Eficiencia energética del sistema	161
12.2.	Intercambiadores de presión.....	163
12.2.1.	Principio básico de funcionamiento.....	163
12.2.2.	Eficiencia energética del sistema	166
12.3.	Conclusiones.....	167
Capítulo 13: Cuestiones económicas.....		169
13.1.	Gastos y costes fijos	169
13.2.	Amortización de la inversión	169
13.3.	Personal y mantenimiento	170
13.4.	Factor de energía	171
13.5.	Gastos o costes variables	171
13.6.	Financiación de las instalaciones.....	172
13.6.1.	Turn-Hey (llave en mano).....	172
13.6.2.	BOO (Construido, operado y propiedad del constructor)	172
13.6.3.	BOOT (Construido, operado y transferido)	172
Capítulo 14: Conclusiones.....		174
Capítulo 15: Bibliografía		176
15.1.	Referencias bibliográficas	176
Anexo I: Legislación.....		178
Anexo II: PFC I		200