

ÍNDICES

ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. PROCESOS DE TENERÍA	1
1.1.1. Introducción	1
1.1.2. Características de las pieles utilizadas para curtición	3
1.1.3. Recepción y almacenamiento de las pieles	4
1.1.4. Procesos de ribera	5
1.1.5. Procesos de curtición	8
1.1.6. Procesos de neutralización, recurtición, tintura y engrase	10
1.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE TENERÍA	14
1.2.1. Introducción	14
1.2.2. Aguas alcalinas	14
1.2.3. Aguas ácidas	15
1.3. TRATAMIENTO CONVENCIONAL DE AGUAS RESIDUALES	18
1.3.1. Introducción	18
1.3.2. Tratamiento actual de aguas residuales de tenería	21
1.3.2.1. Pretratamiento y oxidación de sulfuros	21
1.3.2.2. Homogenización y tratamiento físico-químico	22
1.3.2.3. Tratamiento de fangos	22
1.4. REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL Y SU APLICACIÓN A LAS AGUAS RESIDUALES DE CURTIDOS	23
1.4.1. Funcionamiento del SBR	24
1.4.1.1. Variables y parámetros de diseño	26
1.4.2. Aplicación del proceso SBR a aguas residuales industriales	29
1.4.3. Aplicación de SBR a aguas residuales de tenería	30

1.5. TECNOLOGÍAS DE MEMBRANA	31
1.5.1. Definición de membrana	31
1.5.2. Parámetros que definen los procesos de membranas	32
1.5.3. Presión osmótica	34
1.5.4. Clasificación de los procesos de membrana	35
1.5.5. Procesos de membrana impulsados por la diferencia de presión	42
1.5.6. Nanofiltración	43
1.5.7. Aplicaciones de la nanofiltración	43
1.5.8. Ósmosis inversa	45
1.5.9. Aplicaciones de la ósmosis inversa	46
1.5.10. Aplicación de membranas a aguas residuales de tenería	47
2. OBJETIVOS	53
3. METODOLOGÍA	55
3.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MEDIDA	55
3.1.1. Análisis para la caracterización del agua	55
3.1.2. Análisis para el control de los baños de cada fase del proceso de curtidos	76
3.1.3. Análisis del fango	77
3.1.4. Análisis de las propiedades de la piel	78
3.2. METODOLOGIA DE LAS ACCIONES LLEVADAS A CABO	83
3.2.1. Análisis de las aguas residuales de las diferentes fases del proceso	86
3.2.2. Metodología de reutilización directa	86
3.2.2.1. Reutilización de los baños residuales de pelambre-calero en remojo	87
3.2.2.2. Reutilización de los baños residuales de píquiel	89
3.2.2.3. Reutilización de los baños residuales de curtición	90
3.2.2.4. Reutilización de baños residuales de recurtición, tinturas y engrase	92
3.2.2.5. Análisis después de la aplicación de la reutilización	93
3.2.3. Metodología de la optimización del tratamiento físico-químico	94

3.2.4. Metodología de la aplicación del SBR	98
3.2.4.1. Estudio para la determinación del tiempo de retención hidráulico (TRH) adecuado (E1)	100
3.2.4.2. Estudio de la eliminación del tratamiento físico-químico previo (E2)	100
3.2.4.3. Estudio del efecto de la reducción del pH (E3)	101
3.2.5 Metodología de la aplicación de membranas	102
3.2.5.1. Estudio de la permeabilidad al agua	103
3.2.5.2. Ensayos con la membrana de nanofiltración	103
3.2.5.3. Ensayos con la membrana de ósmosis inversa	104
3.3. EQUIPOS Y PLANTA PILOTO	105
3.3.1. Bombos de laboratorio	105
3.3.2. Equipo de “jar test”	105
3.3.3. Planta piloto de SBR	107
3.3.4. Microscopio óptico	108
3.3.5. Planta piloto de nanofiltración y ósmosis inversa	109
3.3.6. Membranas	111
4. RESULTADOS	113
4.1. ANÁLISIS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA TENERIA	113
4.1.1. Comparación analítica de las aguas residuales generadas en la tenería	113
4.2. RESULTADOS DE LA REUTILIZACIÓN DIRECTA	119
4.2.1. Reutilización de los baños residuales de pelambre-calero en el remojo	119
4.2.2. Reutilización de los baños residuales de píquel	128
4.2.3. Reutilización de los baños residuales de curtición	135
4.2.4. Reutilización de los baños residuales de tinturas, engrase y recurtición	141
4.2.5. Comparación de la contaminación en las distintas fases del proceso de curtidos sin aplicar y aplicando la reutilización directa	144
4.3. OPTIMIZACIÓN DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIDOS	151
4.3.1. Selección del coagulante y su concentración óptima	151

4.3.2. Selección del pH de adición óptimo	158
4.3.3. Selección de la concentración óptima de floculante	164
4.3.4. Aplicación del tratamiento físico-químico optimizado a nivel industrial	172
4.4. TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL PROCEDENTE DEL TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO MEDIANTE SBR	175
4.4.1. Estudio para la determinación del tiempo de retención hidráulico adecuado	176
4.4.2. Estudio de la eliminación del tratamiento físico-químico previo (E2)	183
4.4.3. Estudio del efecto de la reducción del pH (E3)	193
4.5. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE MEMBRANAS	201
4.5.1. Ensayos de permeabilidad al agua desionizada	201
4.5.2. Caracterización del agua alimento	202
4.5.3. Ensayos con la membrana de nanofiltración	202
4.5.4. Ensayos con la membrana de ósmosis inversa	208
5. CONCLUSIONES	213
BIBLIOGRAFÍA	217
NOTACIÓN	225
RESÚMEN	229
RESUM	231
ABSTRACT	233

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Composición de una piel de vacuno recién desollada	4
Tabla 1.2. Generación de contaminantes en agua residual en kilogramos por Tn de piel salada	16
Tabla 1.3. Participación de cada grupo de operaciones en % sobre el total	17
Tabla 1.4. Cantidades de agua empleadas por tonelada de piel bruta	17
Tabla 1.5. Operaciones de membrana relevantes en el tratamiento de agua	36
Tabla 1.6. Principales materiales de los procesos gobernados por la presión	42
Tabla 1.7. Presión aplicada y flux de permeado producido en los procesos de membrana	43
Tabla 3.1. Ensayos de reutilización de los baños residuales de pelambre-calero en remojo	87
Tabla 3.2. Valores mínimos de los parámetros objetivos a considerar en la calidad de las pieles acabadas	88
Tabla 3.3. Ensayos de reutilización de los baños residuales de píquel	89
Tabla 3.4. Ensayos de reutilización de los baños residuales de curtición	91
Tabla 3.5. Ensayos de reutilización de los baños residuales de recurtición, tintura y engrase	92
Tabla 3.6. Volumen de agua residual de las diferentes fases del proceso de curtidos	93
Tabla 3.7. Concentración de las disoluciones para los coagulantes y su preparación	95
Tabla 3.8. Modelo de tabla para la recogida de datos	96
Tabla 3.9. Condiciones de operación en el ensayo 1 (E1)	101
Tabla 3.10. Condiciones de operación en el ensayo 2 (E2)	101
Tabla 3.11. Condiciones de operación en el ensayo 3 (E3)	101
Tabla 3.12. Características de la batería de bombos del laboratorio	105
Tabla 3.13. Características de la membrana DURASLICK NF 2540	111
Tabla 3.14. Características de la membrana DURASLICK OI 2540	111

Tabla 4.1. Caracterización del agua a tratar	151
Tabla 4.2. Resultados de la aplicación del coagulante RZ y 4 mg/l de floculante	152
Tabla 4.3. Resultados de la aplicación del coagulante F144 y 4 mg/l de floculante	154
Tabla 4.4. Resultados de la aplicación del coagulante PA y 4 mg/l de floculante	155
Tabla 4.5. Resultados de la aplicación del coagulante CF y 4mg/l de floculante	157
Tabla 4.6. Concentración de coagulante óptima	158
Tabla 4.7. Efecto del pH de adición sobre el coagulante RZ (400 mg/l RZ y 4 mg/l de floculante)	159
Tabla 4.8. Efecto del pH de adición sobre el coagulante F144 (200 mg/l F144 y 4 mg/l de floculante)	160
Tabla 4.9. Efecto del pH de adición sobre el coagulante PA (200 mg/l PA y 4 mg/l de floculante)	161
Tabla 4.10. Efecto del pH de adición sobre el coagulante CF (100 mg/l CF y 4 mg/l de floculante)	163
Tabla 4.11. Concentración de coagulante óptimo y pH de adición	164
Tabla 4.12. Efecto de la concentración de floculante sobre el coagulante RZ (400 mg/l RZ y pH 9)	164
Tabla 4.13. Efecto de la concentración de floculante sobre el coagulante F144 (200 mg/l F144 y pH 9)	165
Tabla 4.14. Efecto de la concentración de floculante sobre el coagulante PA (200 mg/l PA y pH 9)	167
Tabla 4.15. Efecto de la concentración de floculante sobre el coagulante CF (100 mg/l CF y pH 9)	169
Tabla 4.16. Concentraciones óptimas y pH óptimos de los diferentes coagulantes y floculante	170
Tabla 4.17. Análisis obtenido tras la aplicación de concentraciones óptimas y pH óptimos de los diferentes coagulantes y floculante	171
Tabla 4.18. Carga másica y edad del fango en los reactores (E1)	182
Tabla 4.19. Mediadas de nitrógeno (E2)	186
Tabla 4.20. Carga másica y edad de fango en los reactores (E2)	190
Tabla 4.21. Medidas de nitrógeno (E3) (Muestra del 29-02-2008)	196
Tabla 4.22. Coeficiente de permeabilidad de las membranas ensayadas	201
Tabla 4.23. Caracterización del agua clarificada procedente del SBR (sin filtrar)	202

Tabla 4.24. Comparación entre la calidad del agua de la planta para el tratamiento de pieles y el permeado de NF	207
Tabla 4.25. Comparación entre el agua utilizada en planta para el tratamiento de pieles y el permeado de ósmosis inversa	212

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Proceso productivo de curtidos	2
Figura 1.2. Diagrama de flujo de los procesos realizados en una tenería	13
Figura 1.3. Etapas de un ciclo de un SBR	25
Figura 1.4. Variables relacionadas con el volumen	26
Figura 1.5. Esquema de funcionamiento de una membrana	31
Figura 1.6. Proceso de presión osmótica	34
Figura 1.7. Proceso de ósmosis inversa	35
Figura 1.8. Tipos estructurales de membranas asimétricas	39
Figura 1.9. Módulo de arrollamiento en espiral	41
Figura 1.10. Módulo de fibra hueca	41
Figura 3.1. pH-metro de sobremesa	56
Figura 3.2. Conductímetro	57
Figura 3.3. Turbidímetro	58
Figura 3.4. Montaje de filtración de sólidos en suspensión	61
Figura 3.5. Punto final de la determinación del óxido de cromo III	70
Figura 3.6. Equipo calefactor para análisis de la DQO	73
Figura 3.7. Espectrofotómetro y termoreactor de la DQO	75
Figura 3.8. Dimensiones probeta de tracción	79
Figura 3.9. Dinamómetro	80
Figura 3.10. Probetas de desgarro	81
Figura 3.11. Aparato para medir la elasticidad de la flor	82
Figura 3.12. Fijación de la probeta de elasticidad al aparato de tracción	83
Figura 3.13. Diagrama de flujo del estudio	85
Figura. 3.14. Reutilización de los baños residuales de pelambre-calero en remojo	88
Figura 3.15. Reutilización de los baños residuales de píquel	90
Figura 3.16. Reutilización de los baños residuales de cromo	91
Figura 3.17. Reutilización de los baños residuales de recurtición, tinturas y engrase	93
Figura 3.18. Batería de bombitos del laboratorio	105
Figura 3.19. Equipo “jar test”	106

Figura 3.20. Conos Imhoff	106
Figura 3.21. Planta piloto de SBR con dos reactores en paralelo	107
Figura 3.22. Microscopio óptico	108
Figura 3.23. Esquema de la planta de laboratorio	109
Figura 3.24. Planta experimental de NF y OI	110
Figura 4.1. Conductividad de las aguas residuales generadas en cada fase del proceso de curtidos	113
Figura 4.2. pH de las aguas residuales generadas en cada fase del proceso de curtidos	114
Figura 4.3. DQO de las aguas residuales generadas en cada fase del proceso de curtidos	115
Figura 4.4. Concentración de sulfatos de las aguas residuales generadas en cada fase del proceso de curtidos	115
Figura 4.5. Sólidos totales, inorgánicos y orgánicos de las aguas residuales generadas en cada fase del proceso de curtidos	116
Figura 4.6. Cromo trivalente de las aguas residuales generadas en cada fase del proceso de curtidos	117
Figura 4.7. % DQO aportado por cada una de las fases del proceso de curtidos	117
Figura 4.8. % Sulfatos aportado por cada una de las fases del proceso de curtidos	117
Figura 4.9. % Cromo aportado por cada una de las fases del proceso de curtidos	118
Figura 4.10. % ST aportado por cada una de las fases del proceso de curtidos	118
Figura 4.11. % SI aportado por cada una de las fases del proceso de curtidos	118
Figura 4.12. % SO aportado por cada una de las fases del proceso de curtidos	118
Figura 4.13. Evolución temporal de la densidad en la fase del remojo	119
Figura 4.14. Evolución temporal de la alcalinidad en la fase del remojo	119
Figura 4.15. Evolución temporal del pH en la fase del remojo	120
Figura 4.16. Conductividad del agua residual de remojo y pelambre antes y después de la reutilización del pelambre en el remojo	121
Figura 4.17. pH del agua residual de remojo y pelambre antes y después de la reutilización del pelambre en el remojo	121
Figura 4.18. DQO del agua residual de remojo y pelambre antes y después de la reutilización del pelambre en el remojo	122
Figura 4.19. Sulfatos del agua residual de remojo y pelambre antes y después de la reutilización del pelambre en el remojo	122

Figura 4.20. Sólidos del agua residual de remojo y pelambre antes y después de la reutilización del pelambre en el remojo	123
Figura 4.21. Características subjetivas de la piel en la reutilización del baño de pelambre en remojo	124
Figura 4.22. Probeta durante el ensayo de tracción en la reutilización del baño de pelambre en el remojo	124
Figura 4.23. Ensayos de tracción en la reutilización del baño de pelambre en remojo	125
Figura 4.24. Probetas tras el ensayo de tracción en la reutilización del baño de pelambre en remojo	125
Figura 4.25. Probeta durante el ensayo de desgarro en la reutilización del baño de pelambre en el remojo	126
Figura 4.26. Ensayos de desgarro en la reutilización del baño de pelambre en remojo	126
Figura 4.27. Probeta durante el ensayo de elasticidad en la reutilización del baño de pelambre en el remojo	127
Figura 4.28. Ensayos de elasticidad en la reutilización del baño de pelambre en remojo	127
Figura 4.29. Evolución temporal de la densidad del baño de píquel en las tres experiencias de reutilización	128
Figura 4.30. Conductividad antes y después de reutilizar el baño de píquel	129
Figura 4.31. pH antes y después de reutilizar el baño de píquel	130
Figura 4.32. DQO antes y después de reutilizar el baño de píquel	130
Figura 4.33. Sulfatos antes y después de reutilizar el baño de píquel	131
Figura 4.34. Sólidos antes y después de reutilizar el baño de píquel	132
Figura 4.35. Características subjetivas de la piel en la reutilización del baño de píquel	132
Figura 4.36. Ensayos de tracción en la reutilización del baño de píquel	133
Figura 4.37. Ensayos de desgarro en la reutilización del baño de píquel	133
Figura 4.38. Probetas tras el ensayo de desgarro en la reutilización del baño de píquel	134
Figura 4.39. Ensayos de elasticidad en la reutilización del baño de píquel	134
Figura 4.40. Conductividad antes y después de reutilizar el agua residual de curtición	135
Figura 4.41. pH antes y después de reutilizar el agua residual de curtición	136
Figura 4.42. Concentración de DQO antes y después de reutilizar el agua residual de curtición	137
Figura 4.43. Concentración de Cromo III antes y después de reutilizar el agua residual de curtición	137

Figura 4.44. Concentración de Sulfatos antes y después de reutilizar el agua residual de curtición	138
Figura 4.45. Concentración de sólidos antes y después de reutilizar el agua residual de curtición	138
Figura 4.46. Características subjetivas de la piel en la reutilización del baño de curtición	139
Figura 4.47. Ensayos de tracción en la reutilización del baño de curtición	139
Figura 4.48. Ensayos de desgarro en la reutilización del baño de curtición	140
Figura 4.49. Ensayos de elasticidad en la reutilización del baño de curtición	140
Figura 4.50. Probetas tras el ensayo de elasticidad en la reutilización del baño de curtición	141
Figura 4.51. Características subjetivas de la piel obtenidas tras la reutilización de los baños de recurtición tintura y engrase	142
Figura 4.52. Ensayos de tracción con la reutilización de los baños de recurtición tintura y engrase	143
Figura 4.53. Ensayos de desgarro con la reutilización de los baños de recurtición tintura y engrase	143
Figura 4.54. Ensayos de elasticidad con la reutilización de los baños de recurtición tintura y engrase	144
Figura 4.55. Cantidad de DQO en las fases del proceso de curtidos: sin reutilización de baño y con reutilización directa	145
Figura 4.56. Cantidad de sulfatos en las fases del proceso de curtidos: sin reutilización de baño y con reutilización directa	146
Figura 4.57. Cantidad de sólidos totales en las fases del proceso de curtidos: sin reutilización de baño y con reutilización directa	146
Figura 4.58. Cantidad de sólidos inorgánicos en las fases del proceso de curtidos: sin reutilización de baño y con reutilización directa	147
Figura 4.59. Cantidad de sólidos orgánicos en las fases del proceso de curtidos: sin reutilización de baño y con reutilización directa	147
Figura 4.60. Cantidad de cromo III en el agua residual tras un proceso sin reutilización de baño y con reutilización directa	148
Figura 4.61. Cantidad de DQO y de sulfatos en el agua residual tras un proceso sin reutilización de baño y con reutilización directa	148

Figura 4.62. Cantidad de sólidos en el agua residual tras un proceso sin reutilización de baño y con reutilización directa	149
Figura 4.63. Influencia de la concentración del coagulante RZ sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante	153
Figura 4.64. Influencia de la concentración del coagulante RZ sobre el aspecto/color del sobrenadante	153
Figura 4.65. Influencia de la concentración del coagulante F144 sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante	154
Figura 4.66. Influencia de la concentración del coagulante PA sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante	156
Figura 4.67. Influencia de la concentración del coagulante CF sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante	157
Figura 4.68. Influencia del pH de adición sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante (400 mg/l RZ y 4 mg/l Floculante)	159
Figura 4.69. Influencia del pH de adición sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante (200 mg/l F144 y 4 mg/l Floculante)	160
Figura 4.70. Influencia del pH de adición sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante (200 mg/l PA y 4 mg/l Floculante)	162
Figura 4.71. Influencia del pH de adición sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante (100 mg/l CF y 4 mg/l Floculante)	163
Figura 4.72. Influencia de la concentración de floculante sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante (400 mg/l RZ y pH 9)	165
Figura 4.73. Influencia de la concentración de floculante sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante (200 mg/l F144 y pH 9)	166
Figura 4.74. Influencia de la concentración de floculante sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante (200 mg/l PA y pH 9)	167
Figura 4.75. Apariencia del sobrenadante para el ensayo: 200 mg/l PA, pH 9 y concentración de floculante variable	168
Figura 4.76. Influencia de la concentración de floculante sobre la DQO y la turbidez del sobrenadante (100 mg/l CF y pH 9)	169
Figura 4.77. Apariencia del sobrenadante para el ensayo: 100 mg/l CF, pH 9 y concentración de floculante variable	170

Figura 4.78. Toneladas al año de DQO y sulfatos en el agua residual, aplicando la reutilización de baños y el tratamiento físico-químico	172
Figura 4.79. Toneladas al año de Cromo trivalente y sólidos totales en el agua residual, aplicando la reutilización de baños y el tratamiento físico-químico	173
Figura 4.80. Evolución de la DQO con el tiempo (E1)	176
Figura 4.81. Evolución de la SS con el tiempo (E1)	177
Figura 4.82. Evolución de la conductividad con el tiempo (E1)	178
Figura 4.83. Evolución de los SSLM con el tiempo en ambos reactores (E1)	179
Figura 4.84. Evolución de V_{30} con el tiempo (E1)	180
Figura 4.85. Fango activo del reactor 1 (E1). A la izquierda. Colonia de ciliado asociado a flóculos (Ciliado peritrico). A la derecha. Metazoo (nematodo)	181
Figura 4.86. Fango activo del reactor 2 (E1). A la izquierda arriba. Ciliado asociado a fango (ciliado peritrico). A la derecha arriba. Ciliado peritrico solo. Abajo tanto derecha como izquierda. Bacterias filamentosas	181
Figura 4.87. Evolución de la DQO con el tiempo (E2)	183
Figura 4.88. Evolución de los sólidos en suspensión con el tiempo (E2)	184
Figura 4.89. Evolución de la conductividad con el tiempo (E2)	185
Figura 4.90. Evolución de los SSLM con el tiempo en ambos reactores (E2)	187
Figura 4.91. Decantabilidad en los dos reactores (6-02-208). (E2)	187
Figura 4.92. Evolución de la V_{30} con el tiempo (E2)	188
Figura 4.93. Fango activo del reactor 1 (E2). A la derecha. Agrupaciones de Vorticella microstoma. A la izquierda. Nematodo. Abajo. Colonia de Vorticellas.	189
Figura 4.94. Fango activo del reactor 2 (E2). A la derecha. Nematodo. A la izquierda y abajo. Colonias de vorticellas microstomas	189
Figura 4.95. Flóculos con áreas con células vivas (verdes, flecha azul) y con células dañadas/muertas (rojas) flecha blanca, Reactor 1 (E2)	191
Figura 4.96. Flóculos con áreas con células vivas (verdes, flecha azul) y con células dañadas/muertas (rojas) flecha blanca. Reactor 2 (E2)	192
Figura 4.97. Evolución de la DQO con el tiempo (E3)	193
Figura 4.98. Evolución de los sólidos en suspensión con el tiempo (E3)	195
Figura 4.99. Evolución de la conductividad (E3)	195
Figura 4.100. Evolución de los SSLM en R1 y R2 con el tiempo (E3)	195
Figura 4.101. Evolución de la V_{30} con el tiempo (E3)	197

Figura 4.102. Flóculos con áreas con células vivas (verdes, flecha azul) y con células dañadas/muertas (rojas) flecha blanca. Reactor 1 (E3)	198
Figura 4.103. Flóculos con áreas con células vivas (verdes, flecha azul) y con células dañadas/muertas (rojas) flecha blanca. Reactor 2 (E3)	199
Figura 4.104. Permeabilidad al agua desionizada	201
Figura 4.105. Variación de la DP con el FCV en el ensayo de NF	203
Figura 4.106. Variación del DP con el tiempo para FCV=1, FCV=2.2 y FCV=3.67 en el ensayo de NF	203
Figura 4.107. Variación del rechazo de la conductividad frente al FCV en el ensayo de NF	204
Figura 4.108. Aspecto del alimento y del permeado de la membrana de NF	204
Figura 4.109. Variación del rechazo de iones sulfato y calcio frente al FCV en el ensayo de NF	205
Figura 4.110. Variación del rechazo de iones cloruro y sodio frente al FCV en el ensayo de NF	206
Figura 4.111. Variación del rechazo de DQO frente al FCV en el ensayo de NF	206
Figura 4.112. Variación de la DP con el FCV en el ensayo de OI	208
Figura 4.113. Variación del DP con el tiempo para FCV=1, FCV=1.58 y FCV=3.37 en el ensayo de OI	209
Figura 4.114. Variación del rechazo de la conductividad frente al FCV en el ensayo de OI	209
Figura 4.115. Aspecto del alimento y del permeado de la membrana de OI	210
Figura 4.116. Variación del rechazo de iones sulfato y calcio frente al FCV en el ensayo de OI	210
Figura 4.117. Variación del rechazo de iones cloruro y sodio frente al FCV en el ensayo de OI	211
Figura 4.118. Evolución del rechazo de DQO frente al FCV en el ensayo de OI	211

