

ÍNDICES

ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX

ÍNDICE GENERAL

1 ANTECEDENTES	1
1.1 La Industria de procesamiento de sólidos	3
1.1.1 Proceso productivo de la cerámica	3
1.1.2 Materiales Cerámicos	9
1.1.3 Zirconio	12
1.1.4 Producción de arenas de zircón	20
1.2 Operaciones con partículas sólidas	22
1.2.1 Caracterización de partículas sólidas	22
1.2.2 Propiedades de masa de partículas	25
1.2.3 Mezclado de sólidos	27
1.2.4 Equipos para la reducción de tamaño	29
1.2.5 Molienda	34
1.2.6 Sistemas de separación de sólidos	40
1.2.7 Aplicación de polielectrolitos	64

1.3	Tecnología de membranas	66
1.3.1	Procesos de membranas	70
1.3.2	Clasificación de membranas	73
1.3.3	Ventajas e inconvenientes de la tecnología de membranas	78
1.3.4	Aplicaciones de las membranas	79
1.3.5	Módulos	79
1.3.6	Características de las membranas	83
1.3.7	Fenómeno de polarización por concentración	87
1.3.8	Pretratamiento	90
1.3.9	Nanofiltración y Osmosis Inversa	92
1.4	Microfiltración	99
1.4.1	Características principales	99
1.4.2	Aplicaciones de la microfiltración	100
1.5	Ultrafiltración	101
1.5.1	Características principales	102
1.5.2	Modelos de ultrafiltración dinámicos	104
1.5.3	Aplicaciones de la ultrafiltración	113
1.6	Ensuciamiento y limpieza de membranas	116
2	OBJETIVOS	123
2.1	Objetivo general	125
2.2	Objetivos específicos	125

3 DESARROLLO EXPERIMENTAL	127
3.1 Introducción	129
3.2 Investigación Bibliográfica	130
3.3 Caracterización del agua de vertido	132
3.3.1 Medición de parámetros de caracterización	132
3.3.2 Estudio de variabilidad	134
3.4 Concentración límite de coagulación del polielectrolito	135
3.5 Ensayos de Sedimentación	137
3.5.1 Equipo de sedimentación	137
3.5.2 Medida de sedimentación	138
3.6 Ensayos de Filtración	139
3.6.1 Selección de tamaño de poro	140
3.6.2 Filtración convencional con filtros de cartucho	142
3.7 Ensayos con Membranas	144
3.7.1 Descripción de la planta piloto	144
3.7.2 Ensayo de microfiltración de larga duración	151
3.7.3 Ensayos de microfiltración con limpieza	153
3.7.4 Selección del tamaño de poro de la membrana de ultrafiltración	157
3.7.5 Ensayos con ultrafiltración de larga duración con la membrana seleccionada	161
3.8 Ensayos de degradación de polielectrolito	162

3.9	Ensayos con microscopia electrónica de barrido (SEM)	163
3.10	Técnicas analíticas	165
3.10.1	Determinación de la demanda química de oxígeno(DQO)	165
3.10.2	Determinación de sólidos totales	169
3.10.3	Determinación de sólidos suspendidos totales	169
3.10.4	Determinación de la turbidez	170
3.10.5	Medición de conductividad	170
3.10.6	Medición de pH	170
3.10.7	Medición de Viscosidad	171
4	RESULTADOS E INTERPRETACIÓN	173
4.1	Resultados de caracterización del agua de vertido	175
4.1.1	Resultados de la medición de parámetros de caracterización	175
4.1.2	Resultados del estudio de variabilidad	176
4.2	Investigación bibliográfica	179
4.3	Determinación de la técnica analítica para la medición del polielectrolito	188
4.3.1	Concentración límite de coagulación de polielectrolito	188
4.3.2	Ensayos de Viscosimetría	190
4.3.3	Ensayos de sedimentación	193

4.4 Estudio de pretratamiento: ensayos de filtración	197
4.4.1 Selección del tamaño de poro	197
4.4.2 Selección de la configuración de filtro	199
4.4.3 Ensayo de microfiltración de larga duración	201
4.4.4 Ensayos de microfiltración con limpieza	204
4.5 Estudio del tratamiento: ensayos de ultrafiltración	218
4.5.1 Selección del tamaño de poro de la membrana: ensayos con agua modelo	218
4.5.2 Ensayos de larga duración con la membrana seleccionada	230
4.6 Ensayos de degradación del polielectrolito	241
4.7 Ensayos Microscopía electrónica de barrido (SEM)	245
4.7.1 Estudio de la lechada	245
4.7.2 Estudio de la disolución de polielectrolito	247
4.7.3 Estudio del agua de vertido sin filtrar	250
4.7.4 Estudio del agua de vertido filtrada	253
4.7.5 Estudio del filtro de disco	256
4.7.6 Estudio de la membrana de 30 kDa	257
5 CONCLUSIONES	259
BIBLIOGRAFÍA	269
NOTACIÓN	281
RESÚMENES	289