

# Tabla de contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Proceso de tratamiento de aguas servidas y sus desafíos energéticos.....	1
1.2	Celdas de combustible microbiológicas .....	3
1.3	Objetivo general.....	6
2	Revisión bibliográfica .....	7
2.1	Operaciones unitarias del proceso convencional de tratamiento de aguas servidas .....	7
2.1.1	Operaciones unitarias de la línea de aguas .....	8
2.1.2	Operaciones unitarias de la línea de lodos.....	11
2.2	Celdas de combustible .....	13
2.2.1	Fundamentos.....	13
2.2.2	Curvas de polarización.....	15
2.3	Celdas de combustible microbiológicas .....	16
2.3.1	Fundamentos.....	16
2.3.2	Mecanismos de transporte de electrones .....	18
2.3.3	Cinética bioelectroquímica en una CCM.....	20
2.3.4	Eficiencia energética en una CCM.....	22
2.4	Operación de CCMs con aguas servidas.....	23
2.5	Objetivos específicos.....	25
3	Caso base y límite de batería .....	26
4	PTAS convencional.....	31
4.1	Diagrama de bloques del proceso.....	31
4.2	Balances de masa .....	32
4.2.1	Descripción de la metodología de resolución .....	32

4.2.2	Tamizado .....	34
4.2.3	Desarenado-desengrasado.....	35
4.2.4	Sedimentación primaria.....	37
4.2.5	Reacción aeróbica y sedimentación secundaria .....	38
4.2.6	Desinfección .....	47
4.2.7	Espesado.....	48
4.2.8	Reacción anaeróbica.....	50
4.2.9	Deshidratado .....	56
4.2.10	Resumen resultados.....	58
4.3	Dimensionamiento de equipos .....	60
4.3.1	Tamizado .....	60
4.3.2	Desarenado y desengrasado .....	60
4.3.3	Sedimentación primaria.....	61
4.3.4	Reacción aeróbica.....	62
4.3.5	Sedimentación secundaria.....	62
4.3.6	Desinfección .....	62
4.3.7	Espesado.....	63
4.3.8	Reacción anaeróbica.....	64
4.3.9	Deshidratado .....	64
4.3.10	Resumen resultados.....	66
4.4	Balances de energía.....	66
4.4.1	Consumo energético por equipos .....	66
4.4.2	Pre calentamiento de lodos.....	68
4.4.3	Resumen de resultados .....	71
5	PTAS con CCMs .....	73
5.1	Diagrama de bloques del proceso.....	73

5.2	Balances de masa .....	74
5.2.1	Reacción electroquímica .....	75
5.2.2	Resumen resultados.....	80
5.2.3	Discusiones parciales.....	81
5.3	Dimensionamiento de equipos .....	83
5.3.1	Reacción electroquímica .....	83
5.3.2	Resumen de resultados .....	98
5.3.3	Discusiones parciales.....	99
5.4	Balances de energía.....	101
6	Evaluación económica .....	104
6.1	Estimación del CAPEX .....	104
6.2	Estimación del OPEX .....	111
6.3	Flujo de caja y $\Delta VAN$ .....	113
6.4	Discusiones parciales .....	114
7	Comparación técnico-económica de una PTAS convencional y en base a CCMs ...	115
7.1	Caso base .....	115
7.2	Estudio de sensibilidad para la eficiencia coulombica .....	115
7.3	Discusiones parciales .....	117
8	Conclusiones y recomendaciones .....	118
9	Bibliografía.....	120
10	Anexos.....	132
10.1	Modelo de Trapero <i>et al.</i> para el dimensionamiento de una etapa de CCMs ....	132
10.2	Modelo de Rittmann y McCarthy para estequiometría en reacciones bioquímicas .....	133
10.2.1	Oxidación aeróbica de aguas servidas .....	134
10.2.2	Respiración endógena.....	134

10.2.3	Metanogénesis a partir de lodos primarios .....	135
10.2.4	Metanogénesis a partir de lodos secundarios .....	135
10.2.5	Oxidación electrogénica de aguas servidas .....	136
10.3	Balance de masa por etapa para la PTAS con CCMs.....	137
10.4	Datos usados para realizar la simulación de la celda de Min <i>et al.</i> .....	140
10.5	Valores CEPCI.....	141