

Índice

Página

Índice de figuras	I
Índice de tablas	IV
Glosario	V
Resumen	VI
Introducción	VII
Objetivo general	VII
Objetivos específicos	VII
Capítulo 1. Generalidades	1
1.1 Celdas de biocombustible	1
1.1.1 Definiciones y clasificaciones de las celdas de biocombustible	3
1.1.2 Combustible y fuentes de catálisis	3
1.1.3 Método de transferencia de electrones entre el sitio de reacción y el electrodo	6
Capítulo 2. Celda microbiana de biocombustible (CMB)	8
2.1 Estructura básica de una CMB	9
2.1.1 Ánodo	10
2.1.2 Cátodo	10
2.1.3 Membrana de intercambio de protones	11
2.2 Condiciones de operación	11
2.3 pH y electrolito	11
2.4 Mecanismos de transferencia de electrones	12
2.4.1 Transferencia directa de electrones al electrodo	12
2.4.2 Transferencia con ayuda de mediadores	13
2.4.2.1 Mediadores producidos por el mismo microorganismo	13
2.4.2.2 Mediadores adicionados exógenamente	14
2.4.3 Transferencia por medio de nanocables bacterianos (pili)	15
2.5 Microorganismos en una CMB	15
2.6 Los protones en la biopelícula	17
2.7 Consorcios microbianos y sintrofia	18

2.8 Diseños de CMB	18
2.8.1 Celda microbiana de biocombustible de producto	21
2.8.2 Celda microbiana de combustible TEM difusa	23
2.8.3 Celda microbiana de combustible TEM no difusa	23
2.8.4 Celda fotoquímica de combustible	24
Capítulo 3. Caracterización de las CMB	26
3.1 Fundamentos de la generación de voltaje en una CMB	26
3.1.1 Termodinámica y la fuerza electromotriz	26
3.1.2 Potenciales estándares de electrodo	27
3.1.3 Voltaje de circuito abierto	29
3.2 Identificación de los factores que disminuyen el voltaje	29
3.2.1 Pérdidas óhmicas	30
3.2.2 Pérdidas de activación	30
3.2.3 Pérdidas metabólicas bacterianas	30
3.2.4 Pérdidas de concentración	30
3.3 Instrumentos para la medición	31
3.4 Cálculos y procedimientos para reportar datos	31
3.4.1 Potencial del electrodo	31
3.4.2 Potencia	32
3.4.3 Densidad de potencia	32
3.4.4 Curvas de polarización	33
3.4.5 Curvas de potencia	34
3.4.6 Eficiencia del tratamiento	34
3.4.7 Eficiencia coulombica	35
3.4.8 Aumento del rendimiento	36
3.4.9 Balance de la DQO	37
3.4.10 Velocidad de carga	37
3.4.11 Eficiencia energética	37

Capítulo 4. Experimentos realizados	38
4.1 Origen de las CMB	38
4.1.1 Efectos eléctricos que acompañan la descomposición de compuestos orgánicos	38
4.1.1.1 El dispositivo	38
4.1.1.2 Varias concentraciones del medio	40
4.1.1.3 Variando la cantidad de levadura	40
4.1.1.4 Condiciones de temperatura	41
4.1.1.5 Bacterias	42
4.1.1.6 Electrodo	43
4.1.2 El cultivo bacteriano como una media-celda (cámara anódica) eléctrica	44
4.2 Avances de las CMB	44
4.2.1 CMB de primera generación	45
4.2.2 CMB de segunda generación	45
4.2.3 CMB de tercera generación	46
4.2.4 CMB desarrolladas desde 1994	47
4.3 Investigación en México	47
4.3.1 Generación de electricidad a partir de una celda de combustible microbiana tipo MIP	47
4.3.1.1 Microorganismos y sustrato	47
4.3.1.2 CMB	51
4.3.1.3 Análisis	52
4.3.1.4 Aclimatación de la celda	52
4.3.1.5 Efecto de la concentración del sustrato	53
4.3.1.6 Generación de electricidad en medición continua	54
4.3.1.7 Generación de potencia en la CMB	54
4.3.1.8 Influencia del pH	56
4.3.1.9 Efecto de la temperatura en el rendimiento de la CMB	56
4.3.1.10 Eficiencia obtenida en una CMB	57
4.3.1.11 Conclusiones	58
4.3.2 Caracterización de una CMB para el tratamiento de efluentes contaminados	60

4.3.2.1	Materiales y métodos	60
4.3.2.2	Resultados	61
4.3.2.3	Conclusiones	63
Capítulo 5.	Aplicaciones de las CMB	65
5.1	Producción de hidrógeno	65
5.2	Tratamiento de aguas residuales	65
5.3	Biorremediación	66
5.4	Biosensores	67
Capítulo 6.	Aplicaciones recientes en funcionamiento	68
6.1	Alimentación de una boya meteorológica	67
6.1.1	Celda microbiana de biocombustible bentónica (CMBB)	68
6.1.2	Experimentos realizados con CMBB	70
6.1.2.1	Construcción y operación de la primera versión de CMBB	70
6.1.2.2	Construcción y operación de la segunda versión de CMBB	70
6.1.3	Resultados	71
6.2	Robots	74
6.2.1	EcoBot I	74
6.2.2	EcoBot II	77
6.2.3	Robot que se alimenta de materia orgánica (SlugBot)	82
6.2.3.1	La autosuficiencia en los robots	83
6.2.3.2	El ciclo básico del SlugBot	85
6.2.3.3	Accesibilidad de las babosas	86
6.2.3.4	Aspectos cuantitativos	86
6.2.3.5	Generación de combustible	87
6.2.3.5.1	Energía teórica de la materia orgánica	87
6.2.3.5.2	Factores físicos que se deben considerar en la digestión artificial	88
6.2.3.5.3	Extracción de energía	89
6.2.3.6	Construcción del SlugBot	90

6.2.4 Branquias artificiales para robots	92
6.2.4.1 Cátodo de O ₂	93
6.2.4.2 Diseños de CMB	94
6.2.4.3 Resultados del experimento	96
6.2.4.4 Efectos de la hidratación en los cátodos	96
6.2.4.5 Efecto de la temperatura en el cátodo	96
6.2.4.6 Efectos del flujo de agua	97
6.2.4.7 Discusión del experimento	99
6.3 Biosensor de CMB de una sola cámara (cámara anódica) para aguas residuales	100
6.3.1 Materiales y métodos utilizados en el biosensor	101
6.3.1.1 CMB de una cámara y su funcionamiento	101
6.3.1.2 Biocombustible para la CMB	102
6.3.1.3 Enriquecimiento y adaptación de las bacterias	103
6.3.1.4 Monitoreo del sistema	103
6.3.2 Resultados y discusión del experimento	104
6.3.2.1 Efecto de la tasa de alimentación	104
6.3.2.2 Efecto de la resistencia externa en el funcionamiento de la celda	106
6.3.2.3 Respuesta del sensor a la concentración de la DQO y calibración con carga externa de 50 Ω	106
6.3.2.4 Efecto del volumen del reactor en las celdas	109
6.3.2.5 Funcionamiento del biosensor CMB con agua residual real	111
6.3.2.6 Efecto de la temperatura	112
6.3.3 Conclusiones del estudio con CMB	113
Capítulo 7. Conclusiones	115
Referencias bibliográficas	116