

Índice de figuras

	Página	
Figura 1.1	Esquema de una celda de biocombustible	1
Figura 1.2	Clasificación de los dispositivos electroquímicos	4
Figura 1.3	Esquema de una media celda de biocombustible (cámara anódica)	5
Figura 2.1	Celda microbiana de biocombustible	8
Figura 2.2	Diseño típico de una CMB	9
Figura 2.3	Diferentes diseños de CMB	20
Figura 2.4	CMB utilizadas en operación continua	21
Figura 2.5	Sistema de tipo de producto: Fermentador externo que alimenta a la celda de combustible H ₂ /O ₂	22
Figura 2.6	Sistema de tipo de producto: Compartimento fermentador/ánodo en la celda de biocombustible	22
Figura 2.7	Sistema TDE	24
Figura 2.8	Sistema TEM	24
Figura 2.9	Celda fotoquímica de combustible	25
Figura 3.1	Curvas de polarización (a) y curvas de potencia (b) de una CMB operada con almidón	35
Figura 4.1	Dispositivo original de una CMB	39
Figura 4.2	Desarrollo de voltaje en las celdas microbianas utilizando soluciones de glucosa al 5, 10, 20, 30, 40 y 50% y 5g de levadura en cada caso	40
Figura 4.3	Desarrollo del voltaje variando cantidades de levadura	41
Figura 4.4	Voltaje obtenido variando la temperatura	41
Figura 4.5	Efecto de corto circuito utilizando levadura y glucosa	43
Figura 4.6	Reacciones redox que se llevan a cabo en la CMB	46
Figura 4.7	Aclimatación de la CMB con tres aplicaciones sucesivas de inóculo	52
Figura 4.8	Generación de voltaje a partir de glucosa como sustrato	53
Figura 4.9	Voltaje máximo obtenido a partir de la concentración de glucosa	53
Figura 4.10	Generación de electricidad en la etapa de medición continua, utilizando resistencias externas de 100 y 600 Ω	54
Figura 4.11	Generación de potencia en la CMB, empleando una resistencia de 1000 Ω (A) y una resistencia de 600 Ω (B)	55

Figura 4.12	Efecto del pH en la densidad de potencia, con una resistencia de 1000 Ω (a) y una resistencia de 600 Ω (b)	57
Figura 4.13	Relación de la temperatura de operación sobre la densidad de corriente, utilizando 100 y 600 Ω	59
Figura 4.14	Corriente registrada en función del tiempo	59
Figura 4.15	Diagrama de una CMB creada en México	60
Figura 4.16	Voltaje a circuito abierto y sometido a una resistencia externa	62
Figura 4.17	Voltaje y corriente en función de una Rext	62
Figura 4.18	Método gráfico para encontrar Rint	63
Figura 4.19	Potencia máxima obtenida de la CMB	64
Figura 6.1	Siete subunidades conectadas eléctricamente en paralelo para proporcionar potencia suficiente para a la boya	71
Figura 6.2	Boya meteorológica usada en la demostración en el muelle del Laboratorio de Investigación Naval en Washington, DC	71
Figura 6.3	Ejemplo de un registro meteorológico de 7 días en una boya marina	72
Figura 6.4	Ánodo de la segunda versión de una CMBB	73
Figura 6.5	Registro de la generación de energía en los primeros 30 días de la instalación de la segunda generación de una CMBB	73
Figura 6.6	Fotografía de prototipo Ecobot I	75
Figura 6.7	Desplazamiento del Ecobot I	75
Figura 6.8	Promedio de ciclos de carga y descarga del Ecobot I	76
Figura 6.9	EcoBot II con una CMB y cátodos de O ₂ colocados en el exterior para permitir su exposición al aire	77
Figura 6.10	EcoBot II	78
Figura 6.11	Ciclo típico de agotamiento para ocho CMB diferentes antes de conectarlas con el EcoBot II	79
Figura 6.12	Arreglo experimental para las carreras del EcoBot II	79
Figura 6.13	Tiempo promedio de las tres carreras para llegar a la meta del robot a 50 cm	80
Figura 6.14	Gradiente de temperatura producido y detectado por el robot cuando se movía hacia el calor de la fuente de luz	81

Figura 6.15	Distancia promedio versus tiempo promedio para las pruebas de resistencia del EcoBot II	81
Figura 6.16	Relación entre la temperatura ambiente promedio transmitida por día y la distancia promedio en experimentos con EcoBot II	82
Figura 6.17	Robot que se alimenta de babosas (Slugbot)	84
Figura 6.18	Ciclos básicos de operación de un robot	85
Figura 6.19	Celda de combustible de alta temperatura	91
Figura 6.20	Pinza del Slugbot	93
Figura 6.21	Dos tipos de CMB: a) CMB con cátodo expuesto al aire, b) CMB con cámara catódica cerrada	95
Figura 6.22	Cuatro tipos de CMB	95
Figura 6.23	Voltaje de circuito abierto	96
Figura 6.24	Corriente de salida de las cuatro CMB en diferentes condiciones de hidratación	97
Figura 6.25	Efecto de la temperatura en las diferentes configuraciones de cátodos	98
Figura 6.26	Respuesta de I_s como resultado de un aumento en el caudal de agua manteniendo constante una temperatura de 30°C	98
Figura 6.27	Celda microbiana de biocombustible de una sola cámara	101
Figura 6.28	Diseño de sistema de una CMB de una sola cámara	102
Figura 6.29	Variación de la corriente con el tiempo para el enriquecimiento de bacterias electroquímicamente activas	105
Figura 6.30	Respuesta a la concentración de la DQO con una resistencia externa de 50 Ω	108
Figura 6.31	Relación entre la carga generada y la concentración de la DQO	108
Figura 6.32	Reproducibilidad del biosensor de una CMB	109
Figura 6.33	Variación de la corriente con el tiempo para el enriquecimiento de bacterias en el biosensor CMB de menor volumen	110
Figura 6.34	Influencia del volumen de los reactores en el tiempo de respuesta de los biosensores a los cambios por etapas en la concentración de DQO	110
Figura 6.35	Estabilidad a largo plazo del biosensor CMB	112
Figura 6.36	Variación de la corriente en el biosensor CMB en respuesta a diferentes soluciones de efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales	112

Índice de Tablas

	Página
Tabla 3.1 Potenciales estándar E_0 y potenciales teóricos para las condiciones típicas en las CMB	28
Tabla 4.1 Solución modificada de Pasteur	43
Tabla 4.2 Bacterias utilizadas por Cohen y sus potenciales	44
Tabla 4.3 Investigaciones realizadas con CMB alimentadas principalmente por la oxidación de la glucosa	48
Tabla 4.4 Investigaciones realizadas con CMB alimentadas por la oxidación de otros químicos 50	
Tabla 4.5 Composición del extracto modelo para la CMB	61
Tabla 6.1 Valores medios de salida de corriente y potencia de la CMB, junto con la resistencia interna calculada	97
Tabla 6.2 Características de las aguas residuales utilizadas en el experimento CMB de una sola cámara	103
Tabla 6.3 Efecto de la tasa de alimentación en la corriente generada y eficiencia coulombica	105
Tabla 6.4 Efecto de la resistencia externa en la respuesta dinámica del biosensor CMB	107
Tabla 6.5 Comparación de los biosensores CMB en relación con el volumen del reactor	111
Tabla 6.6 DQO medida con método químico y biosensor	111
Tabla 6.7 Efecto de la temperatura en un biosensor CMB	112

Glosario

AMA	Agua de mar artificial
ARS	Agua residual sintética
CMB	Celda microbiana de biocombustible
CVR	Carbón vítreo reticulado
ENH	Electrodo normal de hidrógeno, también llamado electrodo estándar de hidrogeno (ESH)
MIP	Membrana de intercambio de protones
PPM	Punto de potencia máxima
RN	Rojo neutro
TDE	Transferencia directa de electrones
TEM	Transferencia de electrones mediada
VCA	Voltaje de circuito abierto