

ÍNDICE

LISTADO DE TABLAS	iv
LISTADO DE FIGURAS	v
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	3
ANTECEDENTES	3
1.1 Las aguas residuales	3
1.1.1 Tratamiento	3
1.1.2 Panorama mundial y situación actual en México.....	6
1.1.3 Energía contenida en el AR	7
1.2 Celdas de combustible microbianas.....	7
1.2.1 Principio de funcionamiento y estructura de una CCM.....	8
1.2.2 Materiales anódicos y catódicos	11
1.2.3 Sustratos	12
1.2.4 Eficiencia y rendimiento de las CCM.....	15
1.2.5 Microorganismos exoelectrógenos.....	20
1.2.6 Escalabilidad.....	22
1.3 Sistemas de recolección de energía	23
1.3.1 Circuitos basados en condensadores conmutados	25
1.3.2 Convertidores basados en inductores y transformadores.....	26
1.3.3 Seguimiento del punto de máxima potencia.....	27
1.3.4 Almacenamiento de la energía	28
1.3.5 Recolección de energía proveniente de múltiples fuentes	30
1.3.6 Gestión energética.....	31
1.4 Sistema de recolección de energía existente (PATENTE No. 374146).	32
1.4.1 Justificación del nuevo diseño	38

HIPÓTESIS	39
OBJETIVO GENERAL.....	39
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
CAPÍTULO 2.....	40
MATERIALES Y MÉTODOS	40
2.1 Procedimientos	40
2.1.1 Biorreactor	41
2.1.2 Fuente controlada.....	43
2.1.3 Sistema de medición por muestreo analógico.....	46
2.1.4 Caracterización del SRE1	48
2.1.5 Diseño e implementación del SRE2	48
2.1.6 Pruebas realizadas a los SRE	49
CAPÍTULO 3.....	52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.1 Caracterización del SRE1	52
3.1.1 Funcionamiento e insuficiencias	52
3.2 Pruebas realizadas al SRE1	54
3.2.1 Eficiencia eléctrica	54
3.2.2 Eficiencia en el tratamiento del ARS	58
3.3 Diseño e implementación del SRE2	61
3.3.1 Selección del nuevo esquema de recolección.....	61
3.3.2 Selección del interruptor analógico	63
3.3.3 Selección del convertidor CC-CC.....	64
3.3.4 Selección del microcontrolador	66
3.3.5 Diseño del circuito, programación y ensamble del prototipo.....	67
3.4 Pruebas realizadas al SRE2	73
3.4.1 Eficiencia eléctrica	73
3.4.2 Eficiencia en el tratamiento del ARS	77
3.5 Comparativa	80
CONCLUSIONES.....	85

PERSPECTIVAS86

REFERENCIAS87

ANEXOS97

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1. Procesamiento de las AR.	4
Tabla 1.2. Características de la composición del AR dependiendo de su origen.	13
Tabla 1.3. DQO removida en las AR.	15
Tabla 1.4. CCM de una o dos cámaras, con cátodo aireado, diferentes configuraciones y materiales en su composición.	19
Tabla 2.1. Composición del ARS.	43
Tabla 3.1. Cálculos energéticos en el SRE1.	57
Tabla 3.2. Características del SRE1.	61
Tabla 3.3 Parámetros y eficiencias reportadas	62
Tabla 3.4. Estudios previos que incluyen convertidores en su esquema de recolección.	65
Tabla 3.5. Convertidores comerciales más utilizados en los SRE.	66
Tabla 3.6. Microcontroladores implementados en circuitos de ultra baja potencia.	67
Tabla 3.7. Cálculos energéticos en el SRE2.	76
Tabla 3.8. Características del SRE2.	80
Tabla 3.9. Estudios similares que implementan SRE aplicados a las CCM.	82

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1. Procesos de tratamiento de las AR en una PTAR a gran escala.....	5
Figura 1.2. Representación esquemática de una CCM de dos cámaras y membrana de intercambio catiónico.	9
Figura 1.3. Arquitectura de las CCM.	10
Figura 1.4. Configuraciones básicas de las CCM. A) Cámara sencilla, B) Doble cámara, C) Multicámara con MIA y MIC.	11
Figura 1.5. Relación de los materiales anódicos con el desempeño de una CCM.....	12
Figura 1.6. Potenciales para las diferentes uniones respecto al potencial de hidrógeno (temperatura 303 K y pH neutro, si no se especifica).	17
Figura 1.7. Curva de polarización y potencia de una CCM. La corriente I_{sc} corresponde a una carga con resistencia cero o cortocircuito mientras que V_{opt} es la tensión de trabajo óptima, en el cual la celda entrega la máxima potencia (P_{max}).	18
Figura 1.8. Mecanismos para la transferencia de electrones.....	21
Figura 1.9. Microorganismos en CCM y su densidad de potencia generada.	22
Figura 1.10. Inversión de potencial en las CCM.	23
Figura 1.11. Esquema de un sistema de recolección de energía. CC-CC: Corriente Continua – Corriente Continua, MPPT: Seguimiento del punto de máxima potencia.....	25
Figura 1.12. Configuración con topología de condensadores conmutados.....	26
Figura 1.13. Ejemplo de una configuración de topología Boost.....	26
Figura 1.14. Ejemplo de una configuración de topología basada en transformadores	27
Figura 1.15. Relación entre la corriente, la tensión y la potencia, para diferentes fuentes de recolección de energía.	28
Figura 1.16. Diagrama gráfico comparativo de diversos dispositivos para el almacenamiento de energía eléctrica.	29
Figura 1.17. Arquitectura Power ORing, utilizada en la recolección de energía de múltiples fuentes.....	31
Figura 1.18. Diagrama representativo del SRE1.	33
Figura 1.19. SRE1, vista superior y posterior.	34
Figura 1.20. Distribución de terminales del integrado NX3L2467	35
Figura 1.21. Diagrama de flujo del programa que ejecuta el microcontrolador	37

Figura 2.1. Organigrama de la metodología planteada.....	40
Figura 2.2. Biorreactor a escala piloto.	41
Figura 2.3. Estructura y composición de las CCM utilizadas.	42
Figura 2.4. Circuito equivalente de una CCM.	44
Figura 2.5. Fuente controlada: a) Diagrama eléctrico; b) Implementación.	45
Figura 2.6. Diseño del circuito driver en Proteus 8.	47
Figura 2.7. Diseño experimental para las pruebas en los SRE.....	49
Figura 2.8. Esquema para la medición de eficiencia en tarjetas de ultra bajo consumo.	50
Figura 3.1. Efecto de la caída de potencial de las CCM en el desempeño del SRE1.	53
Figura 3.2. Forma de onda de las corrientes de entrada y salida en un ciclo de recolección de la tarjeta existente. a) Corriente que se extrae de las CCM; b) Corriente de carga en la batería.	55
Figura 3.3. Forma de onda de los potenciales de entrada y salida en un ciclo de recolección de la tarjeta existente. a) Tensión de los condensadores en serie; b) Tensión de la batería.	56
Figura 3.4. Corriente consumida de la batería en un ciclo.....	57
Figura 3.5. Distribución de la energía en el SRE1.....	58
Figura 3.6. Relación de las mediciones diarias de AGV y DQO con el SRE1.....	59
Figura 3.7. Forma de onda de las mediciones eléctricas realizadas a las CCM. a) Tensión de circuito abierto (V_{oc}); b) Corriente de cortocircuito (I_{cc}).	60
Figura 3.8. Arquitectura de SRE con múltiples fuentes de entrada.....	62
Figura 3.9. Distribución de terminales del integrado NX3L4051.	64
Figura 3.10. Modelo y dimensiones del SRE2.....	69
Figura 3.11. Diagrama de conexiones del SRE2.....	69
Figura 3.12. Diagrama de flujo que ejecuta el programa en el SRE2.	70
Figura 3.13. Simulación y depuración del control en Proteus 8.	71
Figura 3.14. Diagrama representativo del SRE2.	72
Figura 3.15. Prototipo del SRE2.....	73
Figura 3.16. Forma de onda de las corrientes de entrada y salida en un ciclo de recolección del SRE2. a) Corriente que se extrae de las CCM; b) Corriente de carga en la batería.	74
Figura 3.17. Forma de onda de los potenciales de entrada y salida en un ciclo de recolección del SRE2. a) Tensión de las CCM; b) Tensión de la batería.	75
Figura 3.18. Corriente que se consume de la batería en un ciclo.	76
Figura 3.19. Distribución de la energía en el SRE2.	77
Figura 3.20. Relación de las mediciones diarias de AGV y DQO utilizando el SRE2.	78

Figura 3.21. Forma de onda de las mediciones eléctricas realizadas a las CCM. a) Tensión de circuito abierto (V_{oc}); b) Corriente de cortocircuito (I_{cc}).....79

RESUMEN

Las celdas de combustible microbiana, por sus características, pueden degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales y transformarla directamente en energía eléctrica. El proyecto consiste en actualizar una tarjeta electrónica de ultra baja potencia ya existente y patentada, con topología de primera generación utilizada en instalaciones de tratamiento de aguas residuales domésticas, la cual presentaba problemas de autonomía y funcionamiento, alcanzando en condiciones ideales un máximo de 42% de eficiencia eléctrica. Por ello, se propuso la construcción de un sistema de recolección de energía con topología de tercera generación, que fue evaluado bajo las mismas condiciones de laboratorio que el sistema de recolección existente. Los parámetros principales medidos en esta investigación fueron: la eficiencia eléctrica del circuito a 0.5 mW de potencia de entrada y el tratamiento realizado al agua residual sintética, con concentraciones iniciales de 1.2 g/L en términos de demanda química de oxígeno, lográndose una eficiencia eléctrica de 55% y una reducción de materia orgánica de 77.27%. En relación a la tarjeta existente, se obtuvo una mejora considerable reduciendo las pérdidas por efecto joule en un 44%, aumentando la eficiencia eléctrica en un 13%, la autonomía en un 12% y la energía recolectada de las celdas en un 20%. En el caso del tratamiento del agua residual sintética los resultados fueron similares, observándose una diferencia de solo un -2.53%. A pesar de los logros de la investigación, se rechaza la hipótesis planteada en la misma, ya que finalmente no se pudo alcanzar el 60% de eficiencia eléctrica esperada con el nuevo diseño.

ABSTRACT

Microbial fuel cells, due to their characteristics, can degrade organic matter present in wastewater and transform it directly into electrical energy. The research was based on updating an already existing and patented first-generation topology ultra-low power electronic card, used in domestic wastewater treatment, this card presented autonomy and operation problems, reaching a maximum of 42% electrical efficiency under ideal conditions. Because of this, the construction of a third generation topology energy harvesting system was proposed, which was tested under the same laboratory conditions as the existing harvesting system. The main parameters measured in this research were: the electrical efficiency at 0.5 mW input power and the treatment of the synthetic wastewater, with initial concentrations of 1.2 g/L in terms of chemical oxygen demand, achieving electrical efficiency of 55% and a reduction of the organic matter of 77.27%. Regarding the existing card, a considerable improvement was obtained, reducing the losses of the joule effect by 44%, electrical efficiency was increased by 13%, autonomy by 12% and the energy obtained from the cells by 20%. In the case of wastewater treatment, the results were similar, observing a difference of only -2.53% compared to the available energy collection system. Despite the achievements of the research, the hypothesis raised is rejected, since the 60% of electrical efficiency expected with the new design could not be achieved.