

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	iii
INDICE DE FIGURAS.....	iii
TABLA ACRONIMOS	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1.....	3
ANTECEDENTES.....	3
1.1. Micro-redes de energía renovable.....	3
1.2. EMS para micro-redes de energía renovable	5
1.3. Evolución en el tiempo del estudio de EMS.....	8
1.4. Convertidores para Micro-redes en Vehículos Marítimos Autónomos	10
1.5. Optimización Multiobjetivo para micro-redes	12
1.6. Justificación	14
1.7. Hipótesis	14
1.8. Objetivo.....	15
CAPITULO 2.....	17
METODOLOGÍA.....	17
2.1. Modelado matemático	19
2.2. Banco de baterías	19
2.3. Aerogeneradores Tidal.....	21
2.4. Módulos fotovoltaicos.....	21
2.5. Cargas eléctricas	23
2.6. Convertidores CD-CD de potencia	23
2.7. Radiación solar	26
2.8. Métodos de series de tiempo para estimación de incertidumbres.....	28
2.8.1. Método de Doble Exponencial Suavizado	29
2.8.2. Método de Filtro de Kalman	30
2.8.3. Modelo de pronóstico persistente.....	31
CAPITULO 3.....	33

MODELO GENÉRICO DE OPTIMIZACIÓN PARA MICRO-REDES	33
3.1. Modelo explícito de optimización para micro-redes	34
3.1.1. Función Objetivo Mono objetivo	34
3.1.2. Funciones Objetivo Multiobjetivo	35
3.1.3. Restricciones de igualdad	36
3.1.4. Restricciones de desigualdad a funciones.....	37
3.1.5. Restricciones de desigualdad a variables.....	37
3.2. Modelo de MPC para micro-redes.....	39
3.3. Algoritmo genético (Método de optimización).....	42
3.3.1. Representación cromosómica	43
3.3.2. Función de selección.....	44
3.3.3. Operadores genéticos	45
3.3.4. Inicialización, terminación y evaluación de la función	46
3.4. Implementación computacional para el análisis de la optimización	47
3.5. Tomador de decisiones para optimización multiobjetivo	49
CAPÍTULO 4.....	51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1. Resultados de algoritmo de optimización	51
4.2. Resultados de métodos de series de tiempo para predicción de radiación solar y velocidad de viento	55
4.3. Resultados de Modelo de Control Predictivo (MPC).....	59
4.3.1. Resultados de Modelo de Control Predictivo (MPC) para micro-red autónoma.....	60
4.3.2. Resultados de Modelo de Control Predictivo (MPC) para una micro-red no autónoma con función de costo constante.....	64
4.3.3. Resultados de Modelo de Control Predictivo (MPC) para función de costo variable en el tiempo	68
4.4. Resultados simulación de convertidores de potencia	72
4.5. Resultados optimización multiobjetivo	80
CONCLUSIONES	83
PRODUCTOS.....	85
PERSPECTIVAS	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Diferencias generales entre algoritmos clásicos y genéticos.	43
Tabla 3.2 Estructura de tomador de decisiones.....	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Micro-red de vehículo marítimo autónomo (fuente propia).....	4
Figura 1.2. Niveles de control de una Micro-red (fuente propia)	5
Figura 1.3. Predicción de curvas de radiación solar (fuente propia).....	7
Figura 1.4. Evolución temporal de artículos científicos sobre EMS (fuente: Scopus).....	9
Figura 1.5. Evolución temporal de desarrollo de patentes de EMS (fuente: Patentscope)	10
Figura 1.6. Sistema propuesto de convertidores para Micro-red (fuente propia).....	12
Figura 2.1. Esquema representativo de un banco de batería [10].....	21
Figura 2.2. Modelo esquemático de un módulo fotovoltaico [33]	22
Figura 2.3. Convertidores Buck-boost bidireccionales simplificado [35].....	24
Figura 2.4. Equivalente eléctrico de convertidor CD-CD bidireccional [35]	24
Figura 2.5. Convertidores Buck-boost simplificado [35]	26
Figura 2.6. Modelo de pronóstico persistente [39]	31
Figura 3.1. La estructura de un EMS	39
Figura 3.2. MPC	41
Figura 3.3. Estructura Básica de MPC [60].....	42
Figura 3.4. Algoritmo computacional de optimización para micro-redes (fuente propia)	49
Figura 4.1. Micro-red de estudio MCR1 (fuente propia)	52
Figura 4.2. Curvas pronosticadas; a) demanda de potencia activa, b) irradiación solar y c) velocidad de viento. (fuente propia).....	53
Figura 4.3. Curvas de generación de la micro-red (fuente propia)	54
Figura 4.4. Estado de carga de la batería (SOC) (fuente propia).....	55

Figura 4.5. Predicción de Irradiancia y Potencia PV (fuente CIESOL)	56
Figura 4.6. Predicción de Velocidad de viento y Potencia Aerogenerador (fuente CIESOL)	56
Figura 4.7. RMSE de la irradiación solar (fuente propia)	58
Figura 4.8. RMSE de la velocidad de viento (fuente propia)	58
Figura 4.9. Predicción de Irradiancia y Potencia PV de un día de invierno nublado (fuente CIESOL)	59
Figura 4.10. Predicción de velocidad de viento y potencia de aerogenerador para un día de invierno nublado (fuente CIESOL)	59
Figura 4.11. Curvas pronosticadas para MCR2; a) irradiación solar, b) velocidad de viento y c) demanda de potencia activa, (fuente CIESOL)	61
Figura 4.12. Micro-red de prueba MCR2	62
Figura 4.13. Curvas de generación de la micro-red MCR2 (fuente propia)	63
Figura 4.14. Curvas de potencia MCR2; a) SOC Batería, b) Déficit de energía en MCR2 y c) Energía Amortiguada en MCR2. (fuente propia)	63
Figura 4.15. SOC Batería MCR2 (fuente propia)	64
Figura 4.16. Micro-red de estudio MCR3 (fuente propia)	65
Figura 4.17. Curvas pronosticadas para MCR3; a) irradiación solar, b) velocidad de viento y c) demanda de potencia activa, (fuente CIESOL)	65
Figura 4.18. Curvas de generación de la micro-red MCR3 con N=10 (fuente propia)	66
Figura 4.19. Curvas de generación de la micro-red MCR3 con N=4 (fuente propia)	67
Figura 4.20. SOC Batería MCR3 (fuente propia)	67
Figura 4.21. Micro-red de estudio MCR4 (fuente propia)	68
Figura 4.22. Curvas pronosticadas para MCR4; a) irradiación solar, b) velocidad de viento y c) demanda de potencia activa, (fuente CIESOL)	69
Figura 4.23. Curvas de generación de la micro-red MCR4 con N=10 (fuente propia)	70
Figura 4.24. Comportamiento de funciones de costo MCR4 (fuente propia)	71
Figura 4.25. SOC Batería MCR4 (fuente propia)	72
Figura 4.26. diseño de convertidor Buck-boost en lazo abierto	73
Figura 4.27. Función de transferencia en lazo abierto (fuente propia)	73

Figura 4.28. Diagrama de polos y ceros convertidor Buck-boost (fuente propia)	74
Figura 4.29. Función de transferencia en lazo cerrado (fuente propia)	74
Figura 2.47. Circuito de convertidor en lazo cerrado (fuente propia).....	75
Figura 4.31. Voltaje del convertidor en lazo cerrado (fuente propia)	75
Figura 4.32. Convertidor Buck-boost bidireccional en lazo abierto (fuente propia).....	76
Figura 4.33. Funciones de transferencia en lazo abierto (fuente propia)	76
Figura 4.34. Salidas de voltaje del convertidor en lazo abierto (fuente propia)	77
Figura 4.35. Diagrama de polos y ceros convertidor Buck-boost bidereccional (fuente propia) .	77
Figura 4.36. Convertidor Buck-boost bidireccional en modo carga (fuente propia)	78
Figura 4.37. Parámetros de convertidor en modo carga, a) SOC batería b) Corriente de carga c) Voltaje de carga	78
Figura 4.38. Convertidor Buck-boost bidireccional en descarga	79
Figura 4.39. Parámetros del convertidor en modo descarga, a) SOC batería b) Corriente de descarga c) Voltaje de descarga	79
Figura 4.40. Pronóstico de potencia con N = 10 (Soluciones de los extremos).....	81
Figura 4.41. Pronóstico de potencia con N = 10 (Soluciones nominadas)	81
Figura 4.42. Comparación de tiempo de cómputo algoritmos mono objetivo y multiobjetivo.....	82

TABLA ACRONIMOS

<i>Abreviatura</i>	<i>Significado</i>
AG	Algoritmos genéticos
ANN	Artificial Neural Networks
ARIMA	AutoRegressive Integrated Moving Average
ARMA	AutoRegressive Moving Average models
CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa
CICY	Centro de investigación científica de Yucatan
CIESOL	Centro de investigación en energía renovables
CO ₂	Dióxido de carbono
CSA	Cuckoo Search Algorithm
DES	Doble exponencial suavizado
EMS	Energy Management System
EPA	Agencia de Protección Ambiental
GOA	Grasshopper Optimisation Algorithm
ICD	Indicadores clave de desempeño
MCR1	Micro-red 1
MCR2	Micro-red 2
MCR3	Micro-red 3
MCR4	Micro-red 4
MITECO	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España
MPC	Model predictive control
ODM	Opción de diseño múltiple
PID	Proporcional Integral derivativo
PSO	Particle swarm optimization
PV	PhotoVoltaic
RMSE	Root-mean-square error
SOC	State of charge

RESUMEN

En este trabajo se investigan los sistemas de gestión energética para micro-redes, aplicados en vehículos marítimos autónomos. El objetivo es abordar el diseño y simulación de un sistema de gestión energética para optimizar una micro-red, teniendo en cuenta las incertidumbres y la naturaleza estocástica asociada a la energía solar y eólica y la demanda de la carga. Para este objetivo, se propone un modelo de optimización estocástica que integra técnicas de control predictivo basado en modelo (MPC); este modelo está integrado a través de una red de distribución. Puede ser en corriente continua o alterna en modo autónomo y no autónomo en este trabajo, se abordan los diferentes casos y se realizan simulaciones. Los métodos utilizados para predecir la radiación solar y la velocidad del viento se basan en series de tiempo; estos están integrados con el MPC para controlar en tiempo real. Además, se desarrolla un caso que se resuelve con optimización multiobjetivo para tener en cuenta la reducción de CO₂, teniendo en cuenta no solo el aspecto económico sino también el ambiental. Su aplicación a diferentes casos prácticos verifica la eficiencia y eficacia de la integración del sistema de gestión energética. El primer caso es para un vehículo marítimo autónomo en la ciudad de Cancún, Quintana Roo, México. También hay otros casos en la Universidad de Almería, primero en un vehículo terrestre de prueba y, posteriormente, en el edificio bioclimático CIESOL en la ciudad de Almería, España.

ABSTRACT

In this work, energy management systems for microgrids, applied in autonomous maritime vehicles, are investigated. The objective is to approach the design and simulation of an energy management system to optimize a microgrid, taking into account the uncertainties and the stochastic nature associated with solar and wind energy and the demand of the load. For this objective, a stochastic optimization model is proposed that integrates model predictive control techniques (MPC); this model is integrated through a distribution network. It can be in direct current or alternating current in autonomous mode and not autonomous in this work, the different cases are approached, and simulations are carried out. The methods used to predict solar radiation and wind speed are based on time series; these are integrated with the MPC to control in real-time. In addition, a case is developed that is solved with multi-objective optimization to take into account the reduction of CO₂ counts not only the economic aspect and the environmental one. Its application to different case studies verifies the efficiency and effectiveness of integrating the energy management system. The first case is for an autonomous maritime vehicle in the city of Cancun Quintana Roo, Mexico. There are also other cases in the University of Almería, first in a test land vehicle and, later, in the CIESOL bioclimatic building in the city of Almería, Spain.