



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA

**DESARROLLO DE UN MODELO CON TÉCNICAS DE
INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA ESTIMACIÓN DEL
ESTADO DE CARGA DE CELDAS DE BATERÍA DE NÍQUEL
METAL HIDRURO**

Trabajo previo a la obtención del título:

MAGISTER EN SISTEMAS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA.

Nombre del autor:

Ing. Jordy Alexander Hernández Vivanco

Nombre del director:

Ing. Hugo Torres Salamea Ph.D

Cuenca - Ecuador 2022

DEDICATORIA

El presente trabajo le dedico principalmente a mis padres, por ser ejemplo y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. El amor de mis padres, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí. A mi hermana y a mi sobrino Joseph por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa. Finalmente, al grupo los shisukos por sus incontables horas de apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Principalmente, doy gracias a todos los docentes que forman parte del programa de maestría de sistemas de propulsión eléctrica, por permitirme adquirir una gran gama de conocimientos, al PhD. Hugo Torres por la acertada guía en la presente investigación. Adicionalmente, quiero agradecer a la familia Pomboza Caiza por su apoyo inmensurable en incontables momentos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
I. Introducción.....	7
II. DESARROLLO METODOLÓGICO	9
A. Recolección de datos para el estado de carga de una celda de batería de Níquel Metal Hidruro	9
B. Selección del modelo neuronal.....	11
C. Selección del conjunto de técnicas de entrenamiento	13
D. Criterios de evaluación para el rendimiento del modelo	13
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
A. Características de la red Multicapa Feed-forward backpropagation	13
B. Características de la red Radial Basis Exact Fit (RBNN).....	14
C. Comparación de rendimiento de los modelos FBNN y RBNN	14
IV. CONCLUSIONES	15
V. RECOMENDACIONES	15
VI. REFERENCIAS	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Métodos para el análisis del rendimiento.	9
Figura 2. Entradas y salidas de la red neuronal artificial del primer modelo.....	10
Figura 3. Entradas y salidas de la red neuronal artificial del segundo modelo	10
Figura 4. Estación de prueba para la toma de datos.....	11
Figura 5. Representación de Voltaje y temperatura en el proceso de descarga. Fuente: Autor.....	11
Figura 6. Representación de la corriente y temperatura en el proceso de descarga.....	11
Figura 7. Pasos operativos de la red neuronal artificial	11
Figura 8. Arquitectura de red multicapa.....	12
Figura 9. Estructura de la red neuronal feed-forward backpropagation del segundo método.....	12
Figura 10. Feed-forward back Propagation fase de entrenamiento	12
Figura 11. Radial Base fase de entrenamiento híbrido. Fuente: Autor	12
Figura 12. Estructura neural estándar.....	13
Figura 13. Resultados FBNN y RBNN	14
Figura 14. Resultados FBNN y RBNN sin temperatura	15
Figura 15. Comparación de rendimientos de los métodos desarrollados.....	15

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. REACCIONES ELECTROQUÍMICAS DE LAS BATERÍAS DE Ni-MH	8
TABLA 2. RESUMEN MÉTODO DE REDES NEURONALES	9
TABLA 3. RESUMEN MÉTODO DE REDES NEURONALES	13
TABLA 4. VALIDACIÓN DEL MODELO (FBNN) EMPLEANDO TEMPERATURA	14
TABLA 5. COMPARACIÓN DE RENDIMIENTO DEL MODELO FBNN Y RBNN CON TEMPERATURA ...	14
TABLA 6. VALIDACIÓN DEL MODELO (FBNN) SIN TEMPERATURA.....	14
TABLA 7. COMPARACIÓN DE RENDIMIENTO DEL MODELO FBNN Y RBNN SIN TEMPERATURA	15

DESARROLLO DE UN MODELO CON TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA ESTIMACIÓN DEL ESTADO DE CARGA DE CELDAS DE BATERÍA DE NÍQUEL METAL HIDRURÓ

RESUMEN

En este artículo se realizó el desarrollo de modelos con técnicas de inteligencia artificial para la estimación del estado de carga de celdas de batería de Níquel Metal Hidruro. El estado de carga (SOC) de una batería se entiende como la energía expresada en porcentaje de la capacidad nominal, que aún está disponible para ser utilizada. Este indicador depende de muchas otras magnitudes las cuales deben ser estimadas con base a otras mediciones de diversas señales. Los aportes de este trabajo es obtener un modelo para determinar el SOC de las celdas de baterías de Níquel Metal Hidruro, que mayormente se encuentran en los vehículos híbridos que se distribuyen en Ecuador. Dicho modelo corresponde a un método con técnicas de inteligencia artificial, mismo que permitirá estimar el estado de carga de la celda de batería. La red neuronal Radial Basis (Excet Fit) con la función de entrenamiento GDX, considerando la temperatura de descarga fue la que obtuvo mejor rendimiento, con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,997195; concluyendo que modelos creados con técnicas de inteligencia artificial para describir sistemas no lineales tienen un desempeño muy elevado.

Palabras claves— Baterías de Níquel Metal Hidruro (**Ni – MH**), Inteligencia Artificial (IA), Estado de Carga (SOC), Red Neuronal Artificial (NN).



Ing. Hugo Torres Salamea Ph.D
Director del trabajo de titulación



Ing. Jordy Hernández V.
Autor

DEVELOPMENT OF A MODEL WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES FOR A STATE-OF-CHARGE ESTIMATION OF NICKEL-METAL HYDRIDE BATTERY CELLS

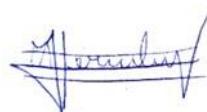
ABSTRACT

In this article, the development of models with artificial intelligence techniques for the estimation of the state of charge of Nickel Metal Hydride battery cells was carried out. The state of charge (SOC) of a battery is understood as the energy expressed as a percentage of the nominal capacity, which is still available to be used. This indicator depends on many other magnitudes, which must be estimated based on other measures of various signals. The contribution of this work was to obtain a model to determine the SOC of Nickel Metal Hydride battery cells mostly found in hybrid vehicles distributed in Ecuador. This model corresponds to a method with artificial intelligence techniques, which will allow estimating the state of charge of the battery cell. The Radial Basis neural network (Excav Fit) with the GDX training function, considering the discharge temperature was the one with the best performance, with a correlation coefficient (R^2) of 0.997195. It is then concluded that models created with artificial intelligence techniques to describe nonlinear systems have a very high performance.

Keywords- Nickel Metal Hydride (Ni-MH) Batteries, Artificial Intelligence (AI), State of Charge (SOC), Artificial Neural Network (ANN).



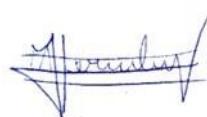
Ing. Hugo Torres Salamea Ph.D
Director del trabajo de titulación



Ing. Jordy Hernández V.
Autor



Translated by



Jordy Hernández