

CONTENTS

LIST OF TABLES	iii
LIST OF FIGURES.....	iv
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCTION.....	1
CHAPTER 1. BACKGROUND	3
1.1 Static modeling	5
1.1.1 Empirical modeling.....	9
1.1.2 Dynamic modeling.....	12
1.2 Analysis of the efficiency and specific energy consumption.....	15
1.2.1 Faraday's efficiency	17
1.2.2 Voltage efficiency	18
1.2.3 Electrolyzer efficiency and specific energy consumption.....	19
OBJECTIVES	21
CHAPTER 2. METHODOLOGY.....	22
CHAPTER 3. ADAPTIVE STATIC-DYNAMIC ELECTRICAL MODEL FOR PEM WATER ELECTROLYSIS	23
3.1 Static-dynamic electrical model for PEM electrolyzer stack.....	24
3.1.1 Experimental test setup.....	24
3.1.2 Mathematical modeling.....	29
3.1.3 Parameter estimation	31
3.2 Static-dynamic electrical model for each cell in a PEM electrolyzer	38
3.2.1 Modeling issues: Dynamics and current ripple	38
3.2.2 Assessment of the parameters of the developed models	47

CHAPTER 4. STUDY OF THE SELF-DISCHARGE PHENOMENON IN A PEM ELECTROLYZER.....	57
4.1 Sighting of the self-discharge in a PEM electrolyzer	58
4.1.1 Description of the experimental test setup	58
4.1.2 Self-discharge voltage issues.....	60
4.2 Mathematical model	67
CHAPTER 5. RESULTS AND DISCUSSION	71
5.1 Results.....	71
5.2 Discussion	85
5.2.1 Self-discharge prevention.....	90
CONCLUSION	92
FUTURE WORKS	94
THESIS ACHIEVEMENTS	96
REFERENCES.....	101

RESUMEN

El electrolizador de membrana de intercambio de protones (PEM, por sus siglas en inglés) es un dispositivo considerado como una alternativa viable para la generación de hidrógeno basada en fuentes de energía renovable (RES, por sus siglas en inglés). Su modelado es fundamental para estudiar su interacción con las RES y la electrónica de potencia. En la literatura actual, los modelos para el dominio eléctrico se basan principalmente en ecuaciones empíricas y semi-empíricas. Sin embargo, las operaciones dinámicas generalmente no son tomadas en cuenta. Por este motivo, esta tesis se ha centrado en el modelado estático-dinámico para el voltaje de un electrolizador PEM. Así, se desarrolla un modelo de alta precisión para el desarrollo de emuladores. En esta tesis, se presenta una breve introducción del electrolizador PEM. El propósito principal del Capítulo 1 es resumir y analizar los modelos reportados para describir el dominio eléctrico. En el capítulo 3 se propone y valida experimentalmente un modelo eléctrico estático-dinámico para la pila y cada celda en un electrolizador PEM. Por lo tanto, es posible replicar con precisión el comportamiento dinámico del electrolizador PEM sujeto a cambios rápidos de corriente. En el capítulo 4 se presenta un estudio del fenómeno de voltaje de autodescarga en un electrolizador PEM. Aunque el fenómeno de autodescarga ha sido ampliamente investigado para dispositivos de almacenamiento de energía como baterías y supercapacitores, no se han reportado trabajos previos en la literatura sobre este fenómeno para electrolizadores. Por esta razón, el capítulo 4 se centra principalmente en investigar el voltaje de auto descarga que se produce en un electrolizador PEM. Se ha desarrollado un modelo con base en diferentes pruebas realizadas para el voltaje de autodescarga. Así, teniendo en cuenta esta caída de voltaje en el modelado, se obtienen simulaciones con un mayor grado de fiabilidad a la hora de predecir el comportamiento de los electrolizadores PEM.

ABSTRACT

Proton exchange membrane (PEM) electrolyzer is an advanced technology considered a viable alternative for the generation of hydrogen based on renewable energy sources (RES). Its modeling is essential to study its interaction with RES and power electronics. In the current literature, the models for the electrical domain are mainly based on semi-empirical and empirical equations. However, dynamic operations are generally neglected. For this reason, this thesis has been focused on the static-dynamic modeling for the voltage of a PEM electrolyzer. Thus, a high accuracy model for the development of PEM electrolyzer emulators is developed. In this thesis, a brief introduction of the PEM electrolyzer is presented. The main purpose of Chapter 1 summarizes and analyzes the reported models to describe the electrical domain. Furthermore, dynamic operation issues are highlighted and recent works about modeling the dynamics are introduced. In Chapter 3 is proposed and experimentally validated a static-dynamic electrical model for the stack and each cell in a PEM electrolyzer. So, it is possible to replicate accurately the dynamic behavior of the PEM electrolyzer subject to fast current change. A study of the self-discharge voltage phenomenon in a PEM electrolyzer is presented in Chapter 4. Although the self-discharge phenomenon has widely been investigated for energy storage devices such as batteries and supercapacitors, no previous works have been reported in the literature about this phenomenon for electrolyzers. For this reason, Chapter 4 is mainly focused on investigating the self-discharge voltage that occurs in a PEM electrolyzer. One model has been developed based on different tests carried out for the self-discharge voltage. Thus, by taking into account this voltage drops in the modeling, simulations with a higher degree of reliability are obtained when predicting the behavior of PEM electrolyzers.