



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Diseño y Optimización de Sistemas de Almacenamiento de Energía Renovable

Mariana Liliam Corengia Giacometti

Programa de Posgrado en Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

Montevideo – Uruguay
Octubre de 2022



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Diseño y Optimización de Sistemas de Almacenamiento de Energía Renovable

Mariana Liliam Corengia Giacometti

Tesis de Doctorado presentada al Programa de Posgrado en Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, como parte de los requisitos necesarios para la obtención del título de Doctor en Ingeniería Química.

Director de tesis:

Dra. Ana Inés Torres Ripa

Montevideo – Uruguay

Octubre de 2022

Corengia Giacometti, Mariana Liliam

Diseño y Optimización de Sistemas de Almacenamiento de Energía Renovable / Mariana Liliam Corengia Giacometti. - Montevideo: Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, 2022.

X, 131 p. 29, 7cm.

Director de tesis:

Ana Inés Torres Rippa

Tesis de Doctorado – Universidad de la República, Programa de Ingeniería Química, 2022.

Referencias bibliográficas: p. 100 – 114.

1. almacenamiento de energía, 2. diseño de procesos, 3. optimización, 4. superestructura, 5. baterías, 6. hidrógeno verde. I. Torres Rippa, Ana Inés. II. Universidad de la República, Programa de Posgrado en Ingeniería Química. III. Título.

INTEGRANTES DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

Dr. Prof. Iván López

Dr. Prof. Mariano Martín

Dr. Prof. Ramón Méndez

Dr. Prof. Alvaro Giusto

Dr. Prof. Marcelo Fiori

Montevideo – Uruguay

Octubre de 2022

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutora, la Dra. Ana Inés Torres por la dedicación y apoyo que ha brindado tanto al desarrollo de esta tesis como a mi formación.

Agradezco a los integrantes del tribunal, por dedicar su tiempo a la revisión de este trabajo.

Agradezco a los colegas del IIQ que han apoyado desde diversos roles a la culminación de este trabajo, tanto los que han participado de discusiones y consejos vinculados de alguna manera a la tesis como los que me han apoyado desde el punto de vista humano.

Durante el transcurso de esta tesis Ana Inés promovió que tomara cursos de otros Institutos de nuestra Facultad. Quiero agradecer a todos esos docentes que me permitieron acercarme a ver el problema desde visiones parecidas, pero no idénticas, teniendo siempre paciencia para explicarme lo que no es claro para una Ingeniera de otra área. En particular, los Profesores Juan A. Bazerque y Ruben Chaer me acercaron algunos de los artículos/informes citados en esta tesis.

El análisis correspondiente al Apéndice 1 fue inspirado por una pregunta del Prof. Thomas Adams II, mientras actuaba como editor de uno de los trabajos publicados.

Corresponde agradecer a la Comisión Sectorial de Investigación Científica, que a través del programa de Movilidad e Intercambios Académicos (CSIC-MIA), me ha permitido asistir a diversos encuentros internacionales para facilitar el intercambio con investigadores del exterior.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mi familia a quienes dedico este trabajo.

RESUMEN

Esta tesis propone el uso de estrategias empleadas en el diseño de sistemas de procesos químicos al diseño de sistemas de almacenamiento de energía.

Se propone un caso general en el que se busca almacenar energía proveniente de fuentes renovables no-programables (como la eólica y/o solar) para utilizarla luego como energía eléctrica (P2P). Se ordenan los posibles equipos a utilizar según que participen en las etapas de carga, almacenamiento y/o descarga. A partir de las ecuaciones que vinculan los flujos de entrada y salida de cada etapa, se modela una red (superestructura) que permite identificar la mejor alternativa de almacenamiento, o combinación de alternativas.

Así, el modelo obtenido permite sistematizar la selección de los equipos dadas una señal de entrada (disponibilidad de la energía), y una señal de salida (el consumo esperado). Además de emplearse en problemas de síntesis de diseño, la estrategia desarrollada puede identificar la mejor estrategia de operación de un sistema de almacenamiento preseleccionado.

Si bien el análisis propuesto es genérico, se presentan casos de estudio particulares que implican variaciones a la estrategia general propuesta. Estos incluyen problemas de optimización vinculados a la operación de baterías instaladas por usuarios que acceden a precios de energía variables en el tiempo, y el análisis de cómo la variabilidad de los recursos renovables afecta los costos de producción de hidrógeno. En este sentido, se proponen estrategias para diseñar sistemas de producción de hidrógeno verde que permitan aprovechar diversas fuentes de energía, tipos de electrolizadores y formas de almacenamiento.

El principal resultado de la tesis son las estrategias y programas desarrollados, que pueden volver a ejecutarse actualizando los datos de entrada a medida que las tecnologías involucradas avancen en sus curvas de aprendizaje.

Palabras claves:

almacenamiento de energía, diseño de procesos, optimización, superestructura, baterías, hidrógeno verde.

ABSTRACT

This thesis applies tools frequently employed in Processes Systems Engineering problems, in the design of Energy Storage Systems. To obtain the optimal design of a generic Power-to-Power system (P2P), the components of the energy storage system are organized in different types of nodes to form a superstructure-like network. To model the system, the equations that represent input-output relationships for each type of node are discussed. The obtained model aids the systematic selection of the components to be installed, along with their optimal operation policy. If the installed capacities are set to constant values, the same strategy can be employed to obtain the optimal scheduling of a pre-established energy storage system.

The analysis proposed is generic, but particular case studies derived from the main model are analyzed in detail. These examples include the analysis of battery operation when a penalization for capacity loss due to the charge/discharge rates is considered, and the analysis of hydrogen production from variable sources of energy. In the later, a similar superstructure is employed to take advantage of different options for power sources, electrolyzers and storage technologies.

Many of these technologies are expected to benefit from technology learning curves in the near future. Thereby, the main contribution of the thesis is the strategy and programs developed to analyze these systems, aiding the systematic selection of designs and schedules.

Keywords:

energy storage, process design, optimization, superstructure, batteries, green hydrogen.