



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Tesis para optar al Título de  
Magíster en Ingeniería Química

# **SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE ELECTRODOS DE BATERÍAS RECARGABLES DE NIMH**

Autor: Ing. JOAQUÍN DIEZ

Directores de Tesis: Dra. Verónica Díaz  
Dra. Erika Téliz

Montevideo, Uruguay  
2019

En la actualidad el consumo de energía muestra una continua tendencia al alta, observándose en el país un cambio de la matriz energética con un fuerte componente de fuentes de energías renovables intermitentes. Es por esto, que la producción de energía eléctrica a través de métodos no convencionales como el eólico o el solar requieren ser complementadas con sistemas de almacenamiento de energía estables, confiables y económicos como son las baterías. La presente tesis se enmarca en el almacenamiento de hidrogeno en fase sólida (hidruros) por vía gaseosa y electroquímica. La vía electroquímica presenta la posibilidad de utilizar estos sistemas como electrodos negativos de baterías NiMH, los cuales serán el centro de estudio en la presente tesis.

Como objetivo general se buscó la optimización de la composición química de un hidruro metálico bajo el estudio del efecto de la sustitución de zirconio por titanio en aleaciones del tipo  $AB_2$ . Se realizaron estudios tanto a nivel electroquímico como estructural, determinando su capacidad de almacenamiento electroquímico, su comportamiento cinético y termodinámico. El punto de partida de esta tesis fueron estudios realizados previamente por el grupo de trabajo donde se optimizó la concentración de molibdeno luego de sustituir el cromo en distintas proporciones. Una vez estudiada la sustitución de elementos en el sitio B, los estudios se centrarán ahora en la sustitución del sitio A. A raíz del cambio en la composición de las aleaciones, nuevas fases son segregados, buscándose relacionar la presencia de estas con el desempeño electroquímico de toda la aleación.

Debido a la importancia de la presencia de fases secundarias en las aleaciones del tipo  $AB_2$ , luego de la síntesis de las mismas se realizaron dos pretratamientos térmicos (recocido y refundido), con el fin de modificar las fases presentes y por consiguiente la estructura cristalina, y poder relacionar la presencia de estas con el comportamiento electroquímico.

Las aleaciones estudiadas en esta tesis presentan la fórmula general  $Zr_{1-x}Ti_xCr_{0.7}Mo_{0.3}Ni$ , con  $x = 0.3, 0.5$  y  $0.7$ . Las mismas fueron elaboradas en un horno de arco eléctrico. Para su análisis metalúrgico se utilizaron las técnicas de microscopía electrónica de barrido, espectroscopía dispersiva de energía y difracción de rayos X. Para el estudio de sus características electroquímicas los electrodos realizados con polvos de cada aleación fueron sometidos a ciclos de carga/descarga electroquímica, descarga a distintos regímenes de descarga, voltamperometrías cíclicas y estudios de la reacción de desprendimiento de hidrógeno.

Se estudiaron también propiedades fisicoquímicas y mecánicas, como el volumen molar y el límite elástico, así como se realizaron balances de energía y calor, buscándose obtener valores de trabajo máximo y perdido, y también de calor liberado al ambiente. Los resultados obtenidos fueron analizados con el fin de evaluar el efecto de las distintas fases presentes en cada aleación.

El trabajo evidenció que el peso relativo de las fases cristalinas en las aleaciones almacenadoras de hidrógeno es un punto crítico a considerar a la hora de optimizar el diseño de los hidruros. La aleación con mayor cantidad de titanio, sin tratar térmicamente es la que presenta el mejor comportamiento global, teniendo en cuenta la capacidad de almacenamiento y la cinética del proceso de hidruración/deshidruración. Por otra parte, los estudios de las propiedades mecánicas evidencian una menor estabilidad mecánica lo que se asocia a una mayor presencia de fracturas lo que conlleva a una mayor cantidad de sitios activos. Esto coincide con los mayores valores de corrientes para la reacción de desprendimiento de hidrógeno. Finalmente, esta aleación presenta el menor trabajo perdido durante la reacción en estudio.

**PALABRAS CLAVES:** Energía, Hidrógeno, Titanio