

|  |            |
|--|------------|
| <b>Índice</b>  |            |
| <b>Agradecimientos</b> .....   | <b>iii</b> |
| <b>Resumen</b> .....   | <b>vii</b> |
| <b>Abstract</b> .....  | <b>ix</b>  |
| <b>Capítulo 1. Introducción</b> .....                                    | <b>1</b>   |
| 1.1 Celdas y baterías  | 1          |
| 1.1.1 Clasificación  | 1          |
| 1.1.2 Operación  | 2          |
| 1.1.3 Tipos y comparación  | 2          |
| 1.2 Baterías de Ni-MH  | 4          |
| 1.2.1 Características generales  | 4          |
| 1.2.2 Reacciones químicas  | 5          |
| 1.2.2.1 Sobrecarga   | 6          |
| 1.2.2.2 Sobredescarga  | 7          |
| 1.2.3 Potencial y capacidad de celda                                     | 8          |
| 1.2.4 Aleaciones del electrodo negativo                                  | 9          |
| 1.3 Objetivos generales y organización                                   | 13         |
| <b>Capítulo 2. Materiales y métodos</b> .....                            | <b>15</b>  |
| 2.1 Preparación de las aleaciones  | 15         |
| 2.1.1 Horno de arco  | 15         |
| 2.1.2 Horno de inducción   | 16         |
| 2.1.3 Molienda mecánica  | 16         |
| 2.2 Técnicas de caracterización  | 17         |
| 2.2.1 Microscopía electrónica de barrido                                 | 17         |
| 2.2.1.1 Electrones secundarios   | 18         |
| 2.2.1.2 Los electrones retrodispersados                                  | 18         |
| 2.2.1.3 Rayos X característicos  | 18         |
| 2.2.1.4 Equipamiento   | 20         |
| 2.2.2 Difracción de rayos X  | 20         |
| 2.2.2.1 Equipamiento   | 21         |
| 2.2.3 Caracterización electroquímica                                     | 21         |
| 2.2.3.1 Celda de laboratorio   | 21         |
| 2.2.3.2 Ciclado de carga-descarga  | 22         |
| 2.2.3.3 Capacidad en función de tasa de descarga                         | 23         |
| 2.2.3.4 Equipamiento   | 24         |
| 2.2.4 Espectroscopía mecánica  | 24         |
| <b>Capítulo 3. Aleaciones base LaNi<sub>5</sub></b> .....                | <b>28</b>  |
| 3.1 Caracterización de la aleación LaNi <sub>4,7</sub> Al <sub>0,3</sub> | 28         |
| 3.1.1 Introducción   | 28         |
| 3.1.2 Materiales y métodos   | 29         |
| 3.1.3 Caracterización metalográfica y cristalográfica.                   | 30         |
| 3.1.3.1 Estudio metalográfico  | 30         |
| 3.1.3.2 Determinación de la inter-difusión Cu-Ni                         | 34         |
| 3.1.3.3 Análisis cristalográfico   | 35         |
| 3.1.4 Caracterización electroquímica                                     | 35         |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 3.1.5  | Mediciones de fricción interna  | 36        |
| 3.1.6  | Conclusiones  | 38        |
| 3.2  | Estudio de aleación con reducido contenido de Co  | 39        |
| 3.2.1  | Introducción  | 39        |
| 3.2.2  | Procedimiento experimental  | 39        |
| 3.2.3  | Caracterización metalográfica - cristalográfica   | 40        |
| 3.2.4  | Caracterización electroquímica  | 43        |
| 3.2.5  | Conclusiones  | 45        |
| 3.3  | Estudio de la sustitución parcial de La por Mg en la aleación<br>$\text{LaNi}_{3,8}\text{Co}_{0,3}\text{Mn}_{0,3}\text{Al}_{0,4}$ | 46        |
| 3.3.1  | Introducción  | 46        |
| 3.3.2  | Materiales y métodos  | 46        |
| 3.3.3  | Caracterización cristalográfica   | 47        |
| 3.3.4  | Caracterización SEM y EDS   | 48        |
| 3.3.5  | Caracterización electroquímica  | 49        |
| 3.3.6  | Conclusiones  | 52        |
| <b>Capítulo 4. Estudio de carbón activado como almacenador electroquímico de energía .....</b> |   | <b>53</b> |
| 4.1  | Introducción  | 53        |
| 4.1.1  | Capacitores y supercapacitores  | 53        |
| 4.1.2  | Pseudo-capacitancia   | 56        |
| 4.1.3  | Desempeño del capacitor y determinación de los valores de capacitancia  | 57        |
| 4.1.4  | Carbones activados como electrodos  | 58        |
| 4.2  | Trabajo experimental  | 60        |
| 4.2.1  | Introducción  | 60        |
| 4.2.2  | Análisis superficial  | 60        |
| 4.2.3  | Caracterización metalúrgica. Análisis mediante SEM  | 63        |
| 4.2.4  | Caracterización electroquímica  | 64        |
| 4.3  | Conclusiones  | 71        |
| <b>Capítulo 5. Prototipo de batería de Ni-MH.....</b>  |   | <b>72</b> |
| 5.1  | Introducción  | 72        |
| 5.2  | Primer prototipo  | 72        |
| 5.2.1  | Materiales y métodos de caracterización   | 72        |
| 5.2.2  | Caracterización electroquímica y estructural  | 74        |
| 5.2.3  | Conclusiones  | 75        |
| 5.3  | Segundo prototipo   | 76        |
| 5.3.1  | Diseño y construcción   | 76        |
| 5.3.2  | Materiales y métodos  | 76        |
|  | 5.3.2.1 Fabricación y caracterización de la aleación<br>$\text{LmNi}_4\text{Co}_{0,31}\text{Mn}_{0,31}\text{Al}_{0,42}$ .         | 77        |
|  | 5.3.2.2 Preparación de los electrodos   | 79        |
| 5.3.3  | Caracterización electroquímica y estructural  | 80        |
| 5.3.4  | Conclusiones  | 82        |
| 5.4  | Tercer prototipo  | 82        |
| 5.4.1  | Diseño y construcción   | 83        |
| 5.4.2  | Materiales y métodos  | 83        |
| 5.4.3  | Caracterización electroquímica y estructural  | 84        |
| 5.4.4  | Conclusiones  | 88        |

|   |            |
|---|------------|
| 5.5 Conclusiones  | 88         |
| <b>Capítulo 6. Aplicaciones en prototipos de batería.....</b>                                   | <b>89</b>  |
| 6.1 Separador eléctrico de electrodos   | 89         |
| 6.1.1 Introducción  | 89         |
| 6.1.2 Materiales y sus características  | 89         |
| 6.1.3 Caracterización electroquímica  | 91         |
| 6.1.4 Conclusiones  | 93         |
| 6.2 Efecto de la presión de compactado de electrodos  | 94         |
| 6.2.1 Introducción  | 94         |
| 6.2.2 Materiales y métodos  | 94         |
| 6.2.3 Caracterización electroquímica  | 95         |
| 6.2.4 Conclusiones  | 98         |
| 6.3 Optimización del método de carga analizando la presión de gases en el interior de la celda. | 98         |
| 6.3.1 Introducción  | 98         |
| 6.3.2 Materiales y métodos  | 99         |
| 6.3.3 Caracterización electroquímica  | 99         |
| 6.3.4 Conclusiones  | 105        |
| <b>Capítulo 7. Diseño y construcción de galvanostato.....</b>                                   | <b>106</b> |
| 7.1 Introducción  | 106        |
| 7.2 Descripción del diseño  | 107        |
| 7.2.1 Fuentes de corriente  | 109        |
| 7.2.2 Medición de potencial y corriente   | 109        |
| 7.2.3 Fuente de alimentación  | 112        |
| 7.3 Interfaz con el usuario. Software de la PC.   | 113        |
| 7.3.1 Protocolo de comunicación entre el equipo y la PC.  | 116        |
| 7.4 Pruebas y resultados  | 117        |
| 7.5 Conclusiones  | 121        |
| <b>Capítulo 8. Conclusiones.....</b>  | <b>123</b> |
| 8.1 Conclusiones generales  | 123        |
| 8.2 Trabajos a futuro   | 124        |
| <b>Apéndice A. Carbón Activado.....</b>   | <b>126</b> |
| <b>Apéndice B. Hoja de datos de baterías comerciales.....</b>                                   | <b>129</b> |
| <b>Apéndice C. Nomenclatura.....</b>  | <b>131</b> |
| <b>Referencias .....</b>  | <b>133</b> |
| <b>Publicaciones y presentaciones en congresos.....</b>   | <b>140</b> |