

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA

Jorge Mírez Tarrillo – jorgemirez2002@gmail.com

Facultad de Ciencias (FC), Centro de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (CTIC)
Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Resumen. *La presente se da a saber la propuesta de curso para estudiantes de Maestría en Energías Renovables, fue elaborado como parte de un Curso del Programa de Doctorado en Ciencias mención Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería (Lima, Perú), lo cual ha permitido la revisión bibliográfica en libros y publicaciones. Hecho para ser dictado en un ciclo ordinario con un modo de evaluación que consiste en un examen parcial, un examen final, un examen sustitutorio y cuatro prácticas calificadas. Además se presente un resumen bastane suscito de los temas a desarrollar en el curso, esperando sea una contribución a la difusión y promoción del estudio e investigación en almacenamiento de energía.*

Palabras Clave: *Sistemas de Almacenamiento de Energía, Microred.*

1. INTRODUCCION

Energía es necesaria por un número de razones, los más básicos y obvios involucran la preparación de alimento y la provisión de calor para hacer la vida confortable. Subsecuentemente, un amplio rango de usos tecnológicos de energía han emergido y están en desarrollo, de tal manera que la disponibilidad de enegía viene a ser un tema central en la sociedad.

La referencia (Sandia, 2007) da la información necesaria para realizar la introducción al curso, habla sobre la madera la cual provee energía durante muchos años. Combustibles fósiles, como el carbón, que menciona hay muchos tipos, sus usos, el ritmo de producción y las reservas probadas. También menciona al petróleo, sus múltiples aplicaciones dado que su energía específica es de alrededor de 42 kJ/kg, su uso masivo y su agotamiento ha conllevado a un problema de depleción de los combustibles fósiles, que se puede detallar con costos, tendencias de reservas de petróleo según tipos. También se menciona sobre el gas natural el cual también es un combustible fósil, a que profundidad se encuentra, usos, estado que se encuentra en la naturaleza, efectos en el medio ambiente, unidades de medición. El hidrógeno que no es una fuente de energía actual, dado que se produce para la industria petroquímica en los procesos de hydrocraking que convierte el petróleo duro en fracciones livianas, y es, obtenido por tratamiento del gas natural a altas temperaturas.

Esta visión general para una persona cualquier se ha considerado como el punto de partida al presente curso, el cual se ha tratado de hacerlo de manera didáctica, ilustrada, procurando dar una visión completa tanto del estado del arte, las tendencias tecnológicas, procesos de simulación y profundidad en la explicación.

2. OBJETIVOS Y CONTRIBUCION

2.1. Objetivo principal.

- El objetivo principal del presente curso es el estudiar las diversas formas de almacenamiento de energía, su importancia, su descripción teórica, modelamiento y simulación.

2.2. Objetivos específicos.

Los siguientes objetivos específicos que han sido planteados marcan la dirección y profundidad en el desarrollo del presente curso:

- Mostrar la importancia del almacenamiento de energía.
- Clasificar las diversas formas de almacenamiento de energía existentes.
- Investigar el actual desarrollo del arte en almacenamiento energético.
- Describir los tipos de almacenamiento más usado y/o con fuerte tendencia a usarse masivamente.
- Desarrollar modelamiento y simulación de algunos tipos de almacenamiento.
- Crear capacidades humanas en los estudiantes de postgrado matriculados en curso.
- Desarrollar potenciales temas de investigación en el área focalizados a la realidad nacional.

2.3. Contribución.

El presente curso servirá para profundizar en la importancia y conocimiento de las formas de almacenamiento de energía relacionadas con las energías renovables, para lo cual se ha recopilado información bibliográfica desde libros, revistas, catálogos, publicaciones científicas, base de datos, consultas a investigadores y empresas comprometidas en la temática.

3. IMPORTANCIA DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGIA

El actual desarrollo de las energías renovables implica la generación de energía usando fuentes renovables. Muchas de ellas tienen comportamiento aleatorio, como por ejemplo: la velocidad del viento sobre las turbinas eólicas, la radiación solar en las fuentes fotovoltaicas, la altura de las olas del mar en las fuentes mareomotrices, entre otros. Las fuentes renovables están conectadas a las redes eléctricas o microredes de electricidad. Pero la disponibilidad aleatoria de la energía primaria da como consecuencia períodos con exceso y deficiencia de energía. Esto ha llevado a que se desarrollen diferentes formas para almacenar la energía sobrante a fin de utilizarlo cuando sea necesario y las condiciones de operación del sistema eléctrico lo permitan.

Tratar el presente tema implica trabajar en procesos multidisciplinarios entre temas de ingeniería básica y ciencias que permiten entender y proponer actuales y futuras implementaciones en el área de almacenamiento de energía.

El almacenamiento de energía tiene un rol crítico en asegurar el futuro energético y que incluye:

- Servirán como una “reserva de electricidad” de mucho mayor capacidad que cualquier reserva de combustibles fósiles.
- Estabiliza la red de distribución y transmisión.
- Permite un uso más eficiente de la generación existente.
- Hace viable económicamente las energías renovables.
- Sirve como un amortiguador de precios, es decir, es un elemento para suministrar energía cuando los costos de electricidad son altos, como por ejemplo, en las horas punta.
- Reduce o disminuye la necesidad de instalar nuevas generadoras.
- Realiza un seguimiento de la carga, alternando la respuesta ante variaciones entre el suministro de electricidad y de demanda.
- Permite tener una capacidad de reserva.
- Realiza un soporte de estabilidad de voltaje.
- Realiza también un soporte y mejor performance de los sistemas de transmisión y distribución.
- Da una asistencia a lo que es la integración de fuentes solares y eólicas reduciendo la volatilidad de la salida y su variabilidad, mejorando la calidad de la energía, reduciendo los problemas de congestión, entre otras.

Un detalle más profundo de la posibilidad de aplicaciones del almacenamiento de energía se muestra en la fig. 1.

Hay un tipo de almacenamiento de energía directamente en forma de calor sensible o latente, más específicamente, el almacenamiento subterráneo de energía térmica (UTES – Under Ground Thermal Energy Storage), que ha tenido en los últimos años un empuje particular. Una de las ventajas del almacenamiento de calor, es que puede ser aplicado en momentos en que la producción y la demanda del mismo se encuentran fuera de fase, con una escala de tiempo que puede variar desde la diaria a la estacional y de ello dependerá el tipo de almacenaje que se aplique (de corto plazo o de largo plazo).

Para el caso de almacenamiento de largo plazo, una de las técnicas utilizadas es el almacenamiento en subsuelo no saturado o rocoso empleando intercambiadores de calor en pozos o perforaciones verticales (BHE – Borehole Heat Exchanger). Mediante estos intercambiadores, energía térmica es inyectada o extraída del subsuelo y entregada a los consumidores ya sea en forma directa o a través de bombas de calor.

En la actualidad se ha desarrollado un gran número de aplicaciones que involucran potencias y energía de distinta magnitud como se puede observar en la figura 2 con detalle en el tipo de tecnología. No se puede decir que hay una tecnología dominante tanto a modo general, como por ubicación en la escala de potencia y energía; pero

tal parece que hay mayor cantidad de aplicaciones con baterías comunes de ácido, volantes de inercia de alta velocidad y tipos particulares de energía; esto para instalaciones de gran potencia y energía, en donde se centra lo que es R&D, porque las aplicaciones de menor potencia, va condicionado – si es ya producción en serie – por el mercado, el posicionamiento de empresas, etc.

GRID STORAGE APPLICATIONS	
ELECTRIC (GRID-SUPPLIED) ENERGY TIME SHIFT	Charges the storage plant with inexpensive electric energy purchased during low price periods and discharges the electricity back to the grid during periods of high price
ELECTRIC SUPPLY CAPACITY	Reduces or diminishes the need to install new generation capacity
LOAD FOLLOWING	Alters power output in response to variations between electricity supply and demand in a given area
AREA REGULATION	Reconciles momentary differences between supply and demand within a given control area
ELECTRIC SUPPLY RESERVE CAPACITY	Maintains operation when a portion of normal supply becomes unavailable
VOLTAGE SUPPORT	Counteracts reactive effects to grid voltage so that it can be upheld or reinstated
TRANSMISSION SUPPORT	Enhances transmission and distribution system performance by offsetting electrical irregularities and interruptions
TRANSMISSION CONGESTION RELIEF	Avoids congestion-related costs by discharging during peak demand to reduce transmission capacity requirements
TRANSMISSION AND DISTRIBUTION UPGRADE DEFERRAL AND SUBSTITUTION	Postpones or avoids the need to upgrade transmission and/or distribution infrastructure
SUBSTATION ON-SITE POWER	Provides power to switching components and communication and control equipment
TIME-OF-USE ENERGY COST MANAGEMENT	Reduces overall electricity costs for end users by allowing customers to charge storage devices during low price periods
DEMAND CHARGE MANAGEMENT	Reduces charges for energy drawn during specific peak demand times by discharging stored energy at these times
ELECTRIC SERVICE RELIABILITY	Provides energy during extended complete power outages
ELECTRIC SERVICE POWER QUALITY	Protects on-site loads against poor quality events by using energy storage to protect against frequency variations, lower power factors, harmonics, and other interruptions
RENEWABLES ENERGY TIME-SHIFT	Stores renewable energy (which is frequently produced during periods of low demand) to be released during periods of peak demand
RENEWABLES CAPACITY FIRING	Addresses issues with ramping from renewable sources by using stored energy in conjunction with renewable sources to provide a constant energy supply
WIND/SOLAR GENERATION GRID INTEGRATION	Assists in wind- and solar-generation integration by reducing output volatility and variability, improving power quality, reducing congestion problems, providing backup for unexpected generation shortfalls, and reducing minimum load violations

Figura 1: Aplicaciones de Almacenamiento de Energía.

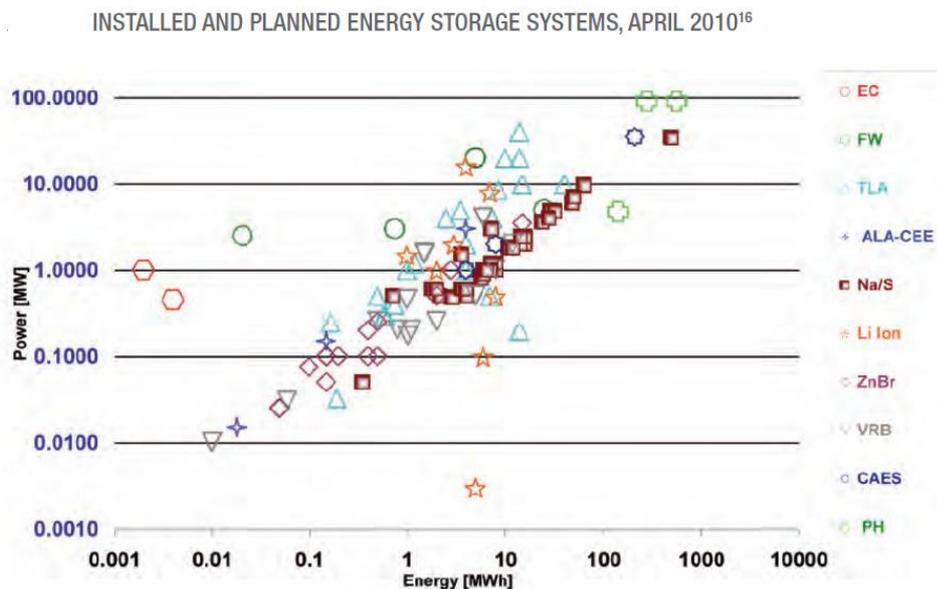


Figura 2: Sistemas de almacenamiento de energía instalados o planificados en Abril 2010.

También se toman en cuenta, los múltiples los factores que dependen de que país se habla, o grupo de países que conforman un bloque económico o energético; también de si es un país desarrollado, emergente o en desarrollo.

4. ANTECEDENTES

Existen experiencias semejantes, algunas se mencionan a continuación:

- En el Programa de Doctorado de la Universidad de Aalborg (Calendario 2011) se han programado los siguientes cursos:
 - “Electroquímica de las Células de Combustible y Baterías”: Teoría de sistemas electroquímicos. Desde modelos de circuitos equivalentes a modelos mecánico/físicos. Técnicas experimental. Interpretación de resultados y su aplicación a células de combustible y baterías. Posibilidades de algoritmos para SOC, SOH y carga/descarga de baterías. Ejercicios de laboratorio (caracterización de baterías y células de combustible) y modelamiento teórico. Documentar un corto reporte el cual se define en un seminario cerrado.
 - “Almacenamiento de Energía para Sistemas de Energía Eólica”: La capacidad de la energía eólica se incrementa alrededor de un 30% anualmente y en consecuencia su penetración en el sistema eléctrico está considerado el incrementarse significativamente en un futuro cercano. El incremento de la penetración y la naturaleza del viento, especialmente su intermitancia, particularmente la no predictibilidad puede colocar la operación del sistema eléctrico en riesgo. Esto como consecuencia puede conllevar a problemas con la estabilidad y fiabilidad de la red. El adicionar energía almacenada a las Centrales de Energía Eólica es uno de las más promisorias soluciones para problemas relacionados a la integración del viento en la red.
 - “Células de Combustible – Fundamentos y Modelamiento”: El objetivo de este curso es dar un introducción sobre Cédulas de Combustible de Electrolito tipo Polímeros (Polymer – Electrolyte Fuel Cells – PEMFC) y aprovechar los modelos de varios procesos de transporte que ocurren al interior de un PEMFC durante su operación. El modelamiento está enfocado predominantemente en métodos de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). La finalidad es entender la importancia física de los varios fenómenos de transporte que ocurren dentro de las células de combustible durante la operación. Es decir, después de completar el curso los estudiantes estarán al tanto del estado de arte acerca de las tendencias actuales y futuras en células de combustible PEM.
- En el Programa de Energías Renovables de la Universidad Politécnica de Cartagena, se tiene programado el curso: “Sistemas de Generación y Almacenamiento de Energía Eléctrica: Baterías y Acumuladores”. La asignatura pondrá en contacto a los alumnos del curso con los diferentes procesos de acumulación de electricidad y sus implicaciones tecnológicas. En concreto, los objetivos que se pretenden alcanzar en este curso son los siguientes: Introducción a los sistemas de generación y almacenamiento de energía eléctrica a partir de reacciones químicas. Obtener una visión general por parte de los alumnos de las diferencias existentes entre los distintos sistemas de acumulación de energía eléctrica. Estudio de las Pilas y Acumuladores más utilizados hasta la fecha, subrayando las mejoras tecnológicas a lo largo de la Historia. Futuro y avances recientes en el uso de nuevos materiales para la fabricación de Pilas y Acumulares.
- En el Erasmus Mundus Masters Courses se da la: “Maestría en Materiales para Conversión y Almacenamiento de Energía” es un programa en Ciencias de los Materiales y Electroquímica con una duración de dos años, entre siete universidades en tres países europeos, China y USA. El curso incluye cursos tales como: fundamentos de electroquímica, ciencia de los materiales, química del estado sólido y almacenamiento de energía, tecnología y procesamiento de materiales, almacenamiento electroquímico y conversión de energía, polímeros conductores, síntesis de nanomateriales.

5. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA

En el presente curso se propone abordar diferentes formas de almacenamiento de energía, como por ejemplo: baterías, biomasa, volantes de inercia (flyweel), hidrógeno, etc. Estos son necesarios clasificarlos según sus diferentes principios de funcionamiento, capacidad de almacenamiento, tiempo de respuesta en el despacho de

energía almacenada, uso más frecuente, etc.

5.1. Método de almacenamiento.

- Químico
 - Hidrógeno.
 - Biocombustible.
 - Nitrógeno Líquido.
 - Oxyhydrogen.
 - Peróxido de Hidrógeno.
- Biológico.
 - Almidón (Starch).
 - Glucógeno.
- Electroquímico.
 - Baterías.
 - Flow Battery.
 - Cédulas de Combustible.
- Eléctrico.
 - Capacitor.
 - Supercapacitor.
 - Almacenamiento de Energía Magnética por Superconductividad (Superconducting Magnetic Energy Storage – SMES).
- Mecánico.
 - Almacenamiento de Energía por Aire Comprimido (Compressed Air Energy Storage – CAES).
 - Almacenamiento de Energía en Volantes de Inercia (Flywheel).
 - Acumuladores Hidráulicos.
 - Almacenamiento de Energía Hidroeléctrica.
 - Spring.
 - Energía Potencial Gravitatoria.
- Térmico.
 - Almacenamiento de Energía Térmica.
 - Molten Salt.
 - Acumulación Freática (Seasonal Thermal Store).
 - Acumulador de Calor (Storage Heater).
 - Acumulador de Vapor (Steam Accumulator).
 - Sistemas Eutécticos (Eutectic System).
- Temporal
 - De corto plazo.
 - De largo plazo.

Entre otros

5.2. Almacenamiento de energía de corto y largo plazo.

Se realiza una caracterización de las tecnologías de almacenamiento de energía de baja y larga duración. Son examinadas para tres categorías: almacenamiento de energía masivo para ser usado a nivel de carga, generación distribuida (DC) para atender los picos locales y calidad de energía (PQ) para alta fiabilidad en usuario final, con importantes variaciones en el tiempo de descarga y la capacidad de almacenamiento. Un objetivo específico ha sido el diferenciar las tecnologías de almacenamiento de energía sobre la base de tiempo de descarga: corto y largo. Las tecnologías de almacenamiento incluido en esta propuesta son los capacitores de alta densidad de energía de carbón – plomo, baterías (de ácido y plomo y avanzados, incluyendo baterías flotantes), supercapacitores, almacenamiento de energía por aire comprimido (CAES), bombeo de agua e hidrógeno.

Las diferentes categorías son distinguidos por el nivel de potencia y tiempo de descarga requerido. Estas especificaciones a la vez determina los requerimientos de energía almacenada. Los niveles de potencia y tiempos de almacenamiento para las varias categorías consideradas en la figura 3.

Application Category Specifications.

Application Category	Discharge Power Range	Discharge Time Range	Stored Energy Range	Representative Applications
Bulk energy storage	10 - 1000 MW	1 - 8 hrs	10 - 8000 MWh	Load leveling, spinning reserve
Distributed generation	100 - 2000 kW	0.5 - 4 hrs	50 - 8000 kWh (0.05 - 8 MWh)	Peak shaving, transmission deferral
Power quality	0.1 - 2 MW	1 - 30 sec	0.1 - 60 MJ (0.028 - 16.67 kWh)	End-use power quality and reliability

Figura 3: Especificación de la Categoría de Aplicación de Almacenamiento de Energía.

5.3. Costos de la energía en corto y largo plazo.

En esta parte se menciona los costos actuales referenciales para corto y largo plazo según sea la finalidad que se usa el sistema de almacenamiento de energía. Se trata los siguientes temas.

- Regulación de la Frecuencia y el Área en Sistemas de Corta duración.
- Integración de renovables en sistemas de corta duración.
- Actualización de Aplazamiento y Subsustitución de la Transmisión y Distribución para Larga Duración.
- Seguimiento de la Carga en Sistemas de Almacenamiento de Larga Duración.
- “Electric Energy Time Shift” en Sistemas de Almacenamiento de Larga Duración.

6. ALMACENAMIENTO DE ENERGIA TERMICA RELACIONADA A LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA.

Una buena cantidad de energía en el mundo se utiliza para el control de temperatura en las viviendas y espacios de trabajo. Se trata los siguientes tipos especiales de almacenamiento de energía térmica, tales como:

- Almacenamiento subterráneo de energía térmica.

7. ALMACENAMIENTO DE ENERGIA EN BATERIAS.

Se trata de todos los tipos de baterías que se tienen produciéndose comercialmente en la actualidad. Pero se inicia con una teoría básica detrás de la operación de las baterías. En el cual se trata los efectos de factores tales como el acople de materiales, composición de electrolito, concentración y temperatura sobre la performance de la batería y también se discute en igual detalle factores tales como el efecto de la variación de la descarga sobre la capacidad de las baterías, incluye también discutir la termodinámica básica involucrada en las baterías y de describe varios aspectos de las baterías primarias y secundarias, como seleccionar el tipo de batería, dar información sobre las características de performance de los varios tipos de baterías y destacar los parámetros que son importantes a tener en cuenta en las baterías, entender los métodos prácticos para la determinación de las características de performance de todos los tipos de baterías, detalle de los procesos de caga, así como un amplio muestreo de las actuales aplicaciones tales como vehículos de propulsión, dispositivos de carga y microelectrónica y aplicaciones en computadoras, entre otros. Se prevé en esta parte el realizar procesos de simulación como parte del curso focalizándose principalmente en las tecnologías por ejemplo las de litio.

8. ALMACENAMIENTO DE ENERGIA EN COMBUSTIBLES ORGANICOS.

Hay también materiales que puede ser considerado como renovable, el agrocombustibles, que contiene significantes cantidades de combustible vegetal, y los cultivos que son altos en azúcar y almidón. Frecuentemente se discute esto en términos de biomasa y bioenergía. En esta parte se trabaja bajo los siguiente tópicos:

- Almacenamiento de energía en biomasa viviente.
- Almacenamiento de energía vía animales.

- Biomasa dura.
- Combustibles líquidos sintéticos.
- Almacenamiento de combustibles gaseosos como líquidos.

9. ALMACENAMIENTO DE ENERGIA MECANICA.

Se trata dos tipos básicos de almacenamiento de energía que resulta de la aplicación de fuerzas a sistemas materiales. Uno de estos involucra cambios en la energía potencial y el otro involucra cambios en el movimiento de la masa y por ende de la energía cinética. Se trata la gran variedad de tipos de almacenamiento de energía potencial y cinética, por lo tanto, se estudia lo siguiente:

- Almacenamiento de energía potencial.
- Almacenamiento de energía en gas presurizado.
- Almacenamiento de energía potencial usando gravedad.
- Potencia hidráulica.
- Almacenamiento de hidro-bombeado.
- Uso de la energía cinética en movimiento de aguas.
- Energía cinética en sistemas mecánicos.

10. ALMACENAMIENTO DE ENERGIA ELECTROMAGNETICA.

Hay dos mecanismos generales por el cual la energía eléctrica puede ser almacenada: uno involucra capacitores, en el cual la energía puede ser almacenada por la separación de cargas eléctricas positivas y negativas; la otra forma involucra las relaciones entre fenómenos eléctricos y magnéticos. Por lo tanto, en esta parte se trata puntualmente los temas:

- Almacenamiento de energía en capacitores.
- Almacenamiento de energía en sistemas magnéticos.

11. ALMACENAMIENTO DE HIDROGENO.

El hidrógeno es un importante portador de energía, puede ser considerado como una alternativa a los mejores combustibles fósiles: carbón, petróleo crudo, gas natural y sus derivados. Tiene un potencial de ser una fuente de energía limpia, fiable y disponible. Tiene su mejor ventaja en que el producto de su combustión con oxígeno es agua, en vez de CO y CO₂, los cuales son considerados gases invernaderos. Es llamada a jugar un mayor rol en el futuro de los sistemas de energía. Se ha demostrado que el hidrógeno puede ser usado directamente en máquinas de combustión interna recíprocante, requiriendo mínimas modificaciones, también en turbinas y procesos de calentamiento. Por lo tanto, se trata en este ítem lo siguiente:

- La producción de hidrógeno.
- Promoción gubernamental para el uso de hidrógeno.
- Actuales alternativas de almacenamiento de hidrógeno en vehículos.
- Otras propuestas para el Almacenamiento de hidrógeno.
- La cuestión de la seguridad.
- Estudiar las potenciales implementación de la tecnología de hidrógeno en Perú como trabajo de investigación del curso.

12. APENDICES

12.1. Nociones básicas de Matlab.

Se detallan las nociones básicas de Matlab como es la ventana de comandos, la ventana de historial, ventana de directorio. Además los principales comandos. Este acápite se subdivide en:

- Comandos más usados.
- El editor EDIT.
- Loops.
- Creación de functions.

12.2. Nociones básicas de Simulink.

Simulink es una poderosa ayuda a quienes ya tienen nociones de programación en código Matlab. Pues simplifica en gran manera la programación al utilizar un entorno gráfico de cajas con ciertas propiedades que se dibujan en una ventana y se enlazan de acuerdo a lo que se desea programar. Hay algunas dificultades

que surge cuando se tiene operaciones que dan valores indeterminados, lo otro es que cuando aparece un error, Simulink suele enlazar muchas cajas no mostrando exactamente el lugar donde se encuentra la falla (en programas grandes). Sin embargo, con algo de práctica se puede llegar a dominar muy bien el entorno y que complementando con lo aprendido en el manejo del código Matlab, hacen una poderosa herramienta.

12.3. Resumen sobre matrices y ejemplos con Matlab.

Debido a que Matlab/Simulink es un “Laboratorio de Matrices”, de ahí su nombre MATLAB (MAT = matrix, LAB = laboratory), en este apéndice se escribirá las principales operaciones con matrices, concentrándonos en ejercicios que tengan relación con lo que se va a desarrollar en la temática de la presente propuesta de curso,

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los docentes y personal administrativo de la Facultad de Ciencias (FC) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) por la enseñanza impartida, en especial mi asesor de Tesis de Maestría Dr. Javier Solano, a mis asesor de Doctorado en Física en curso Dr. Manfred Horn (FC-UNI) y coasesor externo Dr Joseph Guerrero – Aalborg University (Denmark) por la orientación y apoyo, a Dr. Walter Estrada, Decano de la Facultad de Ciencias y Responsable de la Cátedra Concytec de Nanomateriales por su apoyo y aceptación en ser parte del grupo de investigación. A los diferentes colegas en diferentes universidades e instituciones nacionales y extranjeras que mediante cooperación nutren el tema de investigación que desarrollo: Rahul Uppala (The University of Texas at Arlington), Jorge Taramona (CORPAC - Perú), Abraham Zamudio (FC-UNI), Franco Canziani (Empresa Waira – Perú), Marcelo Cortés (Universidad de Antofagasta - Chile) e integrantes de Grupo Matlab de Facebook del cual soy administrador. Al Ing. José Olidén Martínez como Director del Centro de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (CTIC) de la Universidad Nacional de Ingeniería, por el apoyo en disponer de sus ambientes para las investigaciones.

BIBLIOGRAFIA

T. R. Cromptom. “Battery Reference Book”. Año Newnes. Third Edition 2000. ISBN 07506 4625 X.

Arturo J. Busso y otros. “Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica: Resultados de un Ensayo de Respuesta Térmica del Subsuelo”. UNNE (Argentina) - Technical University Munich (Alemania). 2009.

Geoffrey Gordon. “System Simulation”. IBM. 1985

United States Department of Energy. Office of Electric Transmission and Distribution. “Grid 2030 - A National Vision for Electricity's Second 100 Years”. July 2003.

Sandia National Laboratories. Long vs. “Short-Term Energy Storage: Sensitivity Analysis. A Study for the DOE Energy Storage Systems Program”. Sand Report. SAND2007-4253. Unlimited Release. July 2007

Robert A. Huggins. “Energy Storage”. Springer Science. ISBN 978-1-4419-1023-3. 2010.

Department of Energy Technology. “PhD courses in 2011”. Aalborg University - Doctoral School in Engineering and Science - energy Technology Programme. Denmark. 2011.

International Energy Agency. “CO2 Captura and Storage”. A key carbon abatement option. 2008

Sandia National Laboratories. “Electric Power Industry Needs for Grid-Scale Storage Applications”. USA. 2010.

Ralph Zito. “Energy Storage. A new approach”. Scrivener Publishing LLC - Wiley. ISBN 978-0-470-62591-0. 2010

Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen. “Thermal Energy Storage. Systems and Applications”. John Wiley & Sons, Ltd. 2011.

Michael Hirscher. “Handbook of Hydrogen Storage: New Materials for Future Energy Storage”. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. ISBN: 978-3-527-32273-2. 2010.

Frank S. Barnes, Jonah G. Levine, “Large Energy Storage Systems Handbook”. CRC Press. 2011.

Sandia National Laboratories. "Advanced Materials and Devices for Stationary Electrical Energy Storage Applications". USA. 2010.

U.S. Department of Energy. Office of Electricity Delivery & Energy Reliability. "Energy Storage. Programm Planning Document". USA. February 2011.

Robert A. Huggins. "Advanced Batteries - Materials Science Aspects". Springer. ISBN: 978-0-387-76423-8. 2009.

Walter A. van Schalkwijk and Bruno Scrosati. "Advances in Lithium-Ion Batteries". Kluwer Academic Publishers. ISBN: 0-306-47456-9. 2002.

David Linden, Thomas B. Reddy. "Handbook of Batteries". Third Edition. McGraw-Hill Handbooks. ISBN 0-07-135978-8. 2001.

Greger R. Dahlin, Kalle E. Strom Lithium Batteries: Research, Technology and Applications. Nova Science Publishers Inc. ISBN 978-1-61668-517-1 (eBook). 2010.

Masaki Yoshio, Ralph J. Brodd, Akiya Kozawa. Lithium - Ion Batteries: Science and Tecnologies. Springer. ISBN: 978-0-387-34444-7. 2009.

Colin A. Vincent, Bruno Scrosati. Modern Baterries: An Introduction to Electrochemical Power Sources. Second Edition. Elsevier Science. ISBN: 0-340-66278-6. 2003.

Technical Marketing Sta_ of Gates Energy Products, Inc. Rechargeable Batteries: Appllications Handbook. Newnes (An Imprint of Elsevier). ISBN: 0.7506-7006-1. 1998.

Ronald M Dell and David A.J. Rand. "Understanding Batteries". Royal Society of Chemistry. ISBN: 0-85404-605-4. 2001.

Institute of Physics. "The Role of Physics in Renewable Energy RD&C". <http://www.iop.org> . London, England. 2005.

TITLE

Abstract. *This work is given to know the proposed course for students of Masters in Renewable Energy, was prepared as part of an ongoing program of PhD in Physics mention the Faculty of Sciences of the National University of Engineering (Lima, Peru) This has allowed the literature review in books and publications. Made to be issued on a regular cycle with an evaluation method that consists of a midterm exam, a final exam, a practical exam and four qualified substitute. Besides summarizing the issues bastane succinct develop in the course, waiting is a contribution to the dissemination and promotion of study and research in energy storage.*

Keyword: *Storage System Enegy, Microgrid*