

## PROGRAMA DE CURSO

### ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

#### A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Civil Mecánica (DIMEC)					
Nombre del curso	Almacenamiento Energético	Código	ME5603	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	Energy Storage					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	1,5	Trabajo personal	5,5
Carácter del curso	Obligatorio			Electivo	X	
Requisitos	ME3240: Termotecnia/AUTOR					

#### B. Propósito del curso:

Los sistemas de almacenamiento de energía permiten extender por más tiempo la entrega de energía por parte de los sistemas energéticos, desde un calentador solar para agua caliente, hasta una planta fotovoltaica para producir electricidad. El curso Almacenamiento Energético, tiene como propósito que el/la estudiante conozca las tecnologías actuales de almacenamiento de energía dentro de los sistemas basados en fuentes renovables. Dentro de ese contexto, se busca que el estudiante aplique la teoría termodinámica y de conservación de energía para estudiar el desempeño de las distintas tecnologías de almacenamiento existentes, y su integración a sistemas de generación/conversión de energía, con el fin de reconocer los efectos y beneficios de emplear almacenamiento energético y valorar su importancia en la sustentabilidad, cambio climático y el plan de descarbonización del sector energético.

El estudio y análisis de tecnologías de almacenamiento energético permitirá al estudiante dar una visión crítica a los sistemas energéticos actuales, con el fin de proporcionar una perspectiva más amplia en la integración de estas tecnologías tanto en sistemas convencionales como en energías renovables. Las herramientas que el/la estudiante adquiera a lo largo de este curso complementarán activamente a su formación basado en las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG), las cuales se enmarcan dentro del perfil de egreso de la carrera de Ingeniería Civil Mecánica.

CE1: Concebir, formular y aplicar modelos físico-matemáticos para la resolución de problemas relacionados con el diseño de componentes, equipos y sistemas mecánicos.

CE2: Interpretar los resultados de la modelación y simulación de fenómenos relacionados con el diseño de componentes, equipos y sistemas mecánicos, estableciendo la pertinencia de las técnicas utilizadas para ello.

CE3: Concebir y crear sistemas innovadores que den respuesta a nuevas necesidades tanto en el ámbito nacional como internacional.

CE4: Diseñar componentes, equipos y sistemas mecánicos para la industria y la generación de energía.

CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

CG4: Trabajo en equipo

Trabajar en equipo, de forma estratégica y colaborativa, en diversas actividades formativas, a partir de la autogestión de sí mismo y de la relación con el otro, interactuando con los demás en diversos roles: de líder, colaborador u otros, según requerimientos u objetivos del trabajo, sin discriminar por género u otra razón.

CG5: Sustentabilidad

Concebir y aplicar nuevas estrategias de solución a problemas de ingeniería y ciencias en el marco del desarrollo sostenible, considerando la finitud de recursos, la interacción entre diferentes actores sociales, ambientales y económicos, además de las regulaciones correspondientes.

### C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE1	RA1: Aplicar las leyes de la termodinámica y modelos energéticos al análisis de sistemas de almacenamiento, el estudio de su desempeño y oportunidades de integración a sistemas energéticos.
CE3	RA2: Desarrollar estrategias de simulación computacional para modelar sistemas de almacenamiento energético, considerando su aplicación en energías renovables.
CE2, CE4	RA3: Evaluar las tecnologías disponibles en términos de eficiencias y factibilidad técnico-económica mediante análisis de escala y sensibilidad de acuerdo con el tamaño de los componentes de una planta energética.
CE4	RA4: Proponer el diseño de un sistema de almacenamiento energético de acuerdo con los requerimientos energéticos del sistema al cual se va a integrar.
Competencias genérica:	Resultados de aprendizaje
CG1	RA5: Utilizar la lectura de textos científicos, académicos y profesionales para la búsqueda y construcción de soluciones en materias de sistemas energéticos y de almacenamiento. RA6: Sintetizar información del estado del arte en las tecnologías de almacenamiento energético para distintas aplicaciones actuales. RA7: Analizar sistemas energéticos complejos con una mirada crítica y reflexiva, tanto en el aula, como en el contexto de un proyecto de investigación. RA8: Desarrollar la comunicación en forma oral y escrita de ideas, propuestas, avances y resultados de un proyecto de investigación en materia energética.
CG4	RA9: Desarrollar la colaboración entre pares mediante actividades e hitos evaluados durante el desarrollo del curso.

**Comentado [ICV1]:** Simplifiqué el texto del RA1 y lo hice más conciso.

**Comentado [ICV2]:** Lo sintetice para que sea menos técnico. Lo de estrategia de simulación en sistemas de AE "engloba" el estado transiente Y la integración.

**Comentado [ICV3]:** Lo separé en 2

**Comentado [ICV4]:** Segunda parte del RA3 anterior

**Comentado [ICV5]:** Acá, modifiqué bastante el orden, y separé algunos para que se entendiera el fin

CG5	RA10: Evaluar el impacto de su propuesta de integración en los principios del desarrollo sostenible, en términos económicos y ambientales considerando normas y regulaciones.
-----	---

#### Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1	Tópicos sobre almacenamiento energético	1,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. La necesidad e importancia del almacenamiento energético. 1.2. Almacenamiento energético y su contexto hoy en día. 1.3. Leyes de la termodinámica y conversión de energía aplicables al almacenamiento energético.		El/la estudiante: 1. Reconoce la importancia del almacenamiento energético, e identifica las tecnologías más usadas en el contexto actual. 2. Calcula ciclos termodinámicos, evaluando su desempeño en términos de eficiencia.	
Bibliografía de la unidad		Obligatoria: [1–3] Complementaria: [6], [8]	

**Comentado [ICV6]:** CORREGIR LA DURACIÓN EN SEMANAS DE ESTAS UNIDADES

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA5, RA6, RA8, RA9	Tecnologías de almacenamiento	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Tecnologías de almacenamiento energético tradicionales 2.2. Nuevas tendencias en almacenamiento energético.		El/la estudiante: 1. Identifica las principales y nuevas tecnologías de almacenamiento energético. 2. Analiza la conveniencia de distintas tecnologías de almacenamiento energético aplicadas a contextos en particular. 3. Revisa el estado del arte de las tecnologías de almacenamiento energético en función de un proyecto seleccionado.	
Bibliografía de la unidad		Obligatoria: [1], [3] Complementaria: [4], [6], [8], [9]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA1, RA2, RA5, RA7, RA8, RA9	Evaluación de desempeño en sistemas de almacenamiento	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
3.1. Cálculo de eficiencias específicas de almacenamiento energético. 3.2. Simulación de tecnologías de almacenamiento energético.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simula el comportamiento físico de la tecnología seleccionada para un proyecto, utilizando herramientas computacionales.</li> <li>2. Calcula eficiencias de la tecnología utilizada para su proyecto, comparando con casos de similares características para almacenamiento energético.</li> <li>3. Planifica con sus pares los hitos del proyecto, autogestionando sus avances.</li> <li>4. Redacta un texto sobre los avances de su trabajo, reportando, en forma clara, los principales resultados de sus análisis y simulaciones.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		Obligatoria: [1] Complementaria: [8], [10]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA2, RA3, RA4, RA5, RA7, RA8, RA9, RA10	Integración a sistemas de suministro de energía	3.5
Contenidos		Indicador de logro	
4.1. Tecnologías de integración de sistemas. 4.2. Análisis de escala de sistemas energéticos. 4.3. Análisis exergético. 4.4. Simulación de sistemas energéticos. 4.5. Análisis económico y evaluación de costos.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Selecciona y aplica métodos de integración de almacenamiento a sistemas energéticos.</li> <li>2. Simula el comportamiento de un sistema energético, considerando la tecnología seleccionada.</li> <li>3. Evalúa el desempeño de un sistema energético completo, utilizando las metodologías de análisis de escala y exergético.</li> <li>4. Evalúa la factibilidad económica e impacto ambiental del sistema propuesto en el proyecto grupal.</li> <li>5. Ejecuta con sus pares los pasos propuestos para cumplir los hitos de avance del proyecto.</li> <li>6. Redacta el estado de avance de su proyecto, reportando, en forma clara, los principales resultados de sus análisis y simulaciones del sistema.</li> </ol>	

Bibliografía de la unidad	Obligatoria: [2] Complementaria: [5], [7], [8], [9]
---------------------------	--

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA3, RA4, RA5, RA7, RA8, RA9, RA10	Aplicaciones de almacenamiento energético	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
5.1. Aplicaciones relevantes de almacenamiento energético en la industria.		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evalúa el desempeño del sistema propuesto, mediante un análisis de variables de decisión e indicadores clave de desempeño.</li> <li>2. Reflexiona acerca de otras aplicaciones relevantes respecto del almacenamiento energético en la industria.</li> <li>3. Trabaja con su equipo en la elaboración del informe final y exposición, autogestionando su quehacer para alcanzar las metas propuestas.</li> <li>4. Expone los resultados del proyecto, explicando en forma clara y con un lenguaje formal las propuestas técnicas y sus indicadores de desempeño.</li> <li>5. Evalúa el impacto de su propuesta de integración en los principios del desarrollo sostenible, en términos económicos y ambientales considerando normas y regulaciones.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		Complementaria: [8–10]	

#### D. Estrategias de enseñanza -aprendizaje:

El curso se lleva a cabo a través de distintos tipos de estrategias de enseñanza. Por un lado, clases expositivas que propicien el conocimiento basal a los estudiantes dentro del área de almacenamiento de energía. También, se usará la estrategia de análisis de casos para aplicar el contenido revisado durante las cátedras y reconocer, entre pares o individual, diferentes alternativas de soluciones energéticas tanto en temas de interés científico, como comercial. Por último, la estrategia de aprendizaje basado en proyectos, donde los estudiantes podrán profundizar sus conocimientos en el análisis de sistemas de almacenamiento energético aplicados a la energía renovable, desarrollando un proyecto desde cero y confeccionándolo a medida que

**Comentado [ICV7]:** Se cambian los bullets por el texto.

se incorpora el aprendizaje expuesto en cátedra. De esta manera, podrán aplicar el contenido aprendido de manera gradual, reportando avances, y comunicando el producto final con sus pares.

#### E. Estrategias de evaluación:

La metodología de evaluación comprende:

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
Resolución de problemas básicos de termodinámica aplicada.	Evalúa RA1 y RA2. Evaluación del tipo Formativa/Diagnóstica retroalimentada por parte del cuerpo docente.
Análisis de casos de implementación de sistemas de almacenamiento energético presentados en el aula.	Evalúa RA1, RA7, RA8, y RA9. Evaluación Formativa con retroalimentación por parte de los pares y el/la docente.
Controles cortos al final de cada unidad temática.	Evalúa los RA1, RA2, RA3, y RA5. Evaluación Sumativa retroalimentada por parte del cuerpo docente.
Reportes de avance de un proyecto grupal de carácter semestral donde se aborde las distintas etapas de selección y evaluación de una tecnología de almacenamiento energético integrado a un sistema de energía renovable seleccionada por el grupo.	Evalúa todos los RA. La evaluación es de carácter Formativa/Sumativa, cuya retroalimentación la ejecuta el cuerpo docente.
Presentación final del proyecto semestral.	Evalúa RA7, RA8, y RA9. Evaluación Formativa/Sumativa con retroalimentación por parte del cuerpo docente.
Evaluación del desempeño grupal.	Evalúa el RA9. Será del tipo Sumativa con retroalimentación por parte de los pares.

#### G. Recursos bibliográficos:

##### Bibliografía obligatoria:

- [1] Dincer, I., & Rosen, M. A. (2021). *Thermal energy storage systems and applications*. John Wiley & Sons.
- [2] Moran, M., Shapiro, H., Boettner, D., & Bailey, M. (2014). *Fundamentals of Engineering*

**Comentado [ICV8]:** Obs: Proponer colocar primero las estrategias de evaluación y luego las de aprendizaje, para así relacionar las evaluaciones con los métodos.

**Comentado [ICV9]:** CAMBIO: - Se añade evaluación diagnóstica de termodinámica.  
- Se agrega la estrategia de análisis de casos en el aula.  
- Controles de lectura, reportes de avance, y proyecto semestral se mantienen.  
- Se propone hacer una evaluación de desempeño grupal (retroalimentación entre pares).

*Thermodynamics*. John Wiley & Sons.

[3] Huggins, R. (2016) *Energy Storage: Fundamentals, Materials and Applications*. Springer

**Bibliografía complementaria:**

[4] Menictas, C., Skyllas-Kazacos, M., & Lim, T. (2014) *Advances in Batteries for Medium and Large-Scale Energy Storage*. Woodhead Publishing Series in Energy.

[5] Dincer, I., & Rosen, M. A. (2007). *Exergy Analysis of Thermal Energy Storage Systems* (Ed.). *Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development* (pp. 132-167). Elsevier.

[6] Cabeza, L. (2021) *Advances in Thermal Energy Storage Systems*. Woodhead Publishing Series in Energy.

[7] Bejan, A. (2016) *Advanced Engineering Thermodynamics*. Wiley

[8] Díaz-González, F., Gomis-Bellmunt, O., Sumper, A. (2016) *Energy storage in power systems*. John Wiley & Sons.

[9] Kalaiselvam, S., Parameshwaran, R. (2014) *Thermal Energy Storage Technologies for Sustainability: Systems Design, Assessment and Applications*. Academic Press

[10] Artículos seleccionados de revistas científicas como: ***Renewable and Sustainable Energy Reviews, Journal of Energy Storage, Energy, Renewable Energy, Applied energy***.

Apuntes proporcionados por el cuerpo docente y material que se subirá a la plataforma.

**H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:**

Vigencia desde:	Otoño 2022
Elaborado por:	Ignacio Calderón Vásquez, Ian Wolde Ponce
Validado por:	Validación CTD de Mecánica
Revisado por:	Área de Gestión Curricular