



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA – *Iztapalapa*

División de Ciencias Básicas e Ingeniería

Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica

DCBI.DIPH.173.2025
03 de octubre de 2025

Dr. Román Linares Romero
Presidente del Consejo Divisional de la
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
P r e s e n t e

Por este conducto solicito atentamente a Usted, incluir en el orden del día del próximo Consejo Divisional, la consideración del Informe de actividades del segundo año como Profesor Visitante del **Dr. Guillermo Benítez Olivares** que comprende el periodo de contratación del 06 de noviembre de 2024 al 05 de noviembre de 2025.

Me es grato comunicar que después de haber revisado el Informe y la evaluación del Área de Ingeniería en Recursos Energéticos, los objetivos se cumplieron satisfactoriamente.

Atentamente
"Casa Abierta al Tiempo"



Dra. Claudia Rojas Serna
Jefa del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica



Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica
Área Académica de Ingeniería en Recursos Energéticos

Informe de actividades del segundo año como profesor visitante

Dr. Guillermo Benítez Olivares

Periodo de evaluación: 6 de noviembre de 2024 al 5 de noviembre de 2025

Resumen

Este documento sintetiza los aportes académicos realizados durante el periodo como profesor visitante durante el segundo año, enfatizando la trayectoria y proyección futura. Asimismo, integra las actividades planificadas en docencia, investigación, formación de recursos humanos y vinculación académica para el Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.

Docencia

Durante este periodo, en el ámbito de la docencia, se impartieron un total de siete Unidades de Enseñanza-Aprendizaje (UEAs) en la Licenciatura en Ingeniería en Energía. A continuación, se presenta una tabla con el desglose de las UEAs impartidas, así como el trimestre lectivo en el que fueron ofrecidas.

Trimestre	UEA	Nivel
24 – O	Energía y Medio Ambiente	Licenciatura
24 – O	Ingeniería de Costos	Licenciatura
24 – O	Proyecto Terminal I aplicaciones de los Fenómenos de Transporte	Licenciatura
25 – I	Transferencia de Masa	Licenciatura
25 – I	Análisis y Evaluación Energética de Procesos	Licenciatura
25 – P	Mecánica de Fluidos	Licenciatura
25 – P	Proyecto Terminal II aplicaciones de los Fenómenos de Transporte	Licenciatura

Difusión y preservación de la cultura

Durante el último año, se han desarrollado múltiples actividades orientadas a la preservación y difusión de la cultura, así como al fortalecimiento del compromiso institucional con la formación integral del estudiantado. Estas acciones se enmarcan en el modelo educativo de la UAM, el cual busca formar no solo profesionales con una sólida preparación técnica, sino también ciudadanas y ciudadanos críticos, responsables y comprometidos con su entorno. En este sentido, se coordinó y participó activamente en seminarios académicos, comités organizadores y eventos conmemorativos como los 50 años de la licenciatura en Ingeniería en Energía, así como en iniciativas institucionales vinculadas a la sostenibilidad, como la Comisión para el Desarrollo Sostenible de la Unidad Iztapalapa.



En el ámbito de la formación docente, se ha mantenido un compromiso constante con el desarrollo profesional y pedagógico, participando en talleres impartidos por la Coordinación de Apoyo a la Docencia (CODAI). Estas actividades permitieron adquirir y fortalecer habilidades en tutorías para la atención al riesgo académico, así como integrar herramientas de inteligencia artificial en el diseño y evaluación de estrategias docentes, lo cual redundó en una mejor atención al estudiantado y en el fortalecimiento de las prácticas educativas.

Por otra parte, en materia de difusión y divulgación del conocimiento, se han realizado diversas actividades orientadas al acercamiento con la sociedad. Entre ellas destaca la promoción de la Licenciatura en Ingeniería en Energía en espacios educativos y medios de comunicación, así como la participación en foros de economía social y solidaria, contribuyendo con ponencias y talleres que promueven la inclusión de grupos vulnerables mediante la educación ambiental y energética. También se llevaron a cabo talleres técnicos como el de MATLAB orientado a la Ingeniería en Energía, y se participó activamente en espacios académicos y editoriales como el Instituto Carlos Graef y la compilación de las memorias del 50 aniversario de la Licenciatura en Ingeniería en Energía. Estas actividades se listan en detalle en la tabla correspondiente, evidenciando la contribución al cumplimiento de la misión institucional de la UAM.

Fecha	Actividad de gestión
13/11/24	Miembro del Comité Revisor del XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ, durante el periodo Octubre 2024 – Enero 2025.
15/11/24	Organizador del evento “Semana de la Ingeniería en Energía” del 11 al 15 de noviembre de 2024.
16/12/24	Integrante de la “Comisión para el desarrollo sostenible de la Unidad Iztapalapa” desde el 1 de marzo de 2024 a la fecha.
02/04/25	Desarrollo del Informe de actividades de la “Comisión para el desarrollo sostenible de la Unidad Iztapalapa”
05/04/25	Participación como miembro del “Comité Organizador del Instituto Carlos Graef 2025”.
16/05/25	Miembro del Comité Técnico del XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ.
03/07/25	Organizador del Foro “La UAM en el desarrollo de tecnologías emergentes sustentables para la transición energética”

Fecha	Actividad en formación docente
14/10/24	Participante en el taller de la CODAI Unidad Iztapalapa: “Habilidades básicas en tutorías para la atención al riesgo académico”
06/03/25	Participante en el taller de la CODAI Unidad Iztapalapa: “Clínica de desarrollo de recursos educativos: IA como apoyo en el diseño y evaluación de estrategias docentes”

Fecha	Actividad en difusión
12/11/24	Por haber impartido el taller: “Taller de MATLAB orientado a la Ingeniería en Energía” dentro del marco de la Semana de la Ingeniería en Energía 2024.



14/11/24	Por su participación presentando la línea de investigación titulada: “Modelado matemático de sistemas bioenergéticos” en el Primer Encuentro de Investigadoras e Investigadores en Energía.
31/01/25	Participante en el “Primer café académico del DIPH”
24/02/25	Editor y compilador de las memorias del “50 Aniversario de la licenciatura en Ingeniería en Energía de la Universidad Autónoma Metropolitana”
29/03/25	Participante en el Instituto Carlos Graef con el taller: “Sistemas fotovoltaicos y termosolares en la red UAMI” .
09/05/25	Tres sesiones del “Plan de acción Tutorial” con el alumno <i>Eduardo Antoan Reynoso Carrillo</i> al terminar su primer trimestre para seguimiento y apoyo.
08/08/25	Realización de labor tutorial con 19 alumnos de la Licenciatura en Ingeniería en Energía.

Formación de recursos humanos

Durante el periodo reportado, se llevaron a cabo nueve actividades orientadas a la formación de recursos humanos en los niveles de licenciatura y posgrado, reflejando un compromiso sostenido con el acompañamiento académico y el desarrollo de capacidades técnicas en estudiantes y egresados. Estas acciones incluyeron la dirección de dos tesis de maestría, dos evaluaciones como jurado de examen de grado, dos supervisiones de proyectos terminales y la tutoría de cuatro servicios sociales enfocados en el diseño de herramientas tecnológicas con aplicación social, particularmente en el ámbito de las energías renovables y la eficiencia energética. Esta labor es fundamental para consolidar perfiles profesionales altamente capacitados y comprometidos con la solución de problemas energéticos y ambientales desde una perspectiva científica y aplicada.

El impacto de estas actividades cumple académicamente, ya que promueven la vinculación con problemáticas reales, el pensamiento crítico, la innovación tecnológica y la responsabilidad social. Asimismo, fomentan la integración de conocimientos multidisciplinarios en áreas clave como el análisis exergético, la optimización de procesos, el modelado numérico y el diseño de sistemas energéticos sostenibles. A continuación, se presenta una tabla con el detalle de estas actividades, incluyendo la fecha, el tipo de participación académica y el nombre del proyecto o trabajo dirigido o evaluado.

Fecha	Actividad
17/12/24	Jurado de examen de grado de Maestría de <i>Sandra Marisol Sánchez Domínguez</i> titulado “Análisis termodinámico al ciclo combinado en modo híbrido del Valle de México” del Posgrado en Energía y Medio Ambiente, UAM - Iztapalapa.
14/03/25	Director de la tesis de Maestría de <i>Rosa María Leyva Lira</i> titulada: “Análisis exergético y exergoeconómico de los sistemas de licuefacción de metano” del Posgrado en Eficiencia Energética y Energías Renovables del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.
22/03/25	Director de la tesis de Maestría de <i>Miguel Ángel Cruz Figueroa</i> titulada: “Optimización del proceso de eliminación de contaminantes en el biogás mediante un biofiltro de lecho escurrido con control de lógica difusa” del



	Posgrado en Eficiencia Energética y Energías Renovables del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.
22/03/25	Jurado de examen de grado de Maestría de <i>Miguel Ángel Cruz Figueroa</i> titulado: “Optimización del proceso de eliminación de contaminantes en el biogás mediante un biofiltro de lecho escurrido con control de lógica difusa” del Posgrado en Eficiencia Energética y Energías Renovables del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.
10/10/25	Asesor de la tesis de Maestría: “Mejoramiento de la producción de metano a partir de aguas residuales de rastro usando un pretratamiento térmico y nanopartículas de óxido de hierro” de la alumna Gerdany Zúñiga Verdugo en la Maestría en Ciencias e Ingeniería Ambientales de la UAM-Azcapotzalco.
10/10/25	Jurado de examen de grado de Maestría de Gerdany Zúñiga Verdugo titulado: “Mejoramiento de la producción de metano a partir de aguas residuales de rastro usando un pretratamiento térmico y nanopartículas de óxido de hierro” en la Maestría en Ciencias e Ingeniería Ambientales de la UAM-Azcapotzalco.

Actualmente se continúa con la formación de recursos humanos a través de la dirección y asesoría de cuatro trabajos académicos *en curso*, tanto a nivel de licenciatura como de posgrado. Estos proyectos contienen temáticas vinculadas con la producción y aprovechamiento de energías renovables, el tratamiento de aguas residuales y el análisis de sistemas de abastecimiento, con un enfoque técnico y ambiental. Las actividades actualmente en desarrollo se listan a continuación.

1. Director de la tesis de Maestría: **“Producción de biogás por digestión anaerobia en modo termofílico”** de la alumna *Araceli Turincio Estrada*, del Posgrado en Energía y Medio Ambiente de la UAM - Iztapalapa.
2. Asesor de Proyecto Terminal II en aplicaciones de Fenómenos de Transporte: **“Modelado del sistema de aguas municipales de Chimalhuacán. Cálculo de la caída de presión en los sistemas de abastecimiento”**. Del alumno Cristian Heriberto Gutiérrez Rojas. UAM-Iztapalapa.
3. Asesor del Servicio Social: **“Estudio hidrodinámico de un reactor bioelectroquímico de lecho fluidizado para la producción de biogás durante el tratamiento de aguas residuales municipales enriquecidas con azúcares fermentables”** del alumno Víctor Paulo Granados Aguilar. UAM-Iztapalapa.

Producción científica

Durante el último año, se han realizado actividades relevantes orientadas a fortalecer la producción científica y tecnológica en las áreas de energía renovable, procesos térmicos y tratamiento de aguas residuales con enfoque en sostenibilidad. Destaca la participación como investigador responsable en el proyecto interinstitucional UAM-IPN, financiado por la SECTEI, titulado “Implementación de un reactor bioelectroquímico de lecho fluidizado para la producción de biogás durante el tratamiento de aguas residuales municipales enriquecidas con azúcares fermentables”. En dicho proyecto se ha desarrollado el modelado hidrodinámico del reactor con herramientas numéricas

4

Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1a Sección, Alcaldía Iztapalapa, 09310, Ciudad de México.

Email: @xanum.uam.mx; Tel: 55 5804 4600 ext. 1239. 



para optimizar el diseño y operación del sistema. Además, se publicó un artículo de investigación en la revista *Energies* sobre transferencia de calor en plantas termosolares híbridas, evidenciando un enfoque interdisciplinario que vincula energía solar, simulación y eficiencia energética.

Asimismo, se presentaron cinco artículos en el Congreso Nacional de la AMIDIQ 2025, todos ellos publicados en la revista *Avances en Ingeniería Química*. Estos trabajos abordaron tópicos como la producción integrada de biodiésel y fitoesteroles, propuestas de plantas híbridas termosolares, análisis termodinámicos de procesos de licuefacción de aire y CO₂, y simulaciones térmicas de sistemas solares avanzados. Este conjunto de contribuciones apoya en la consolidación de líneas de investigación en energías limpias, procesos intensificados y modelado computacional. Actualmente, dos artículos adicionales se encuentran en evaluación por pares: uno en *Journal of Fluid Mechanics*, enfocado en la predicción de la hidrodinámica en columnas de burbujeo, y otro en *Bioenergy & Other Renewable Energy eJournal*, centrado en el modelado de la producción de biogás a partir de estiércoles en biorreactores discontinuos. Estas actividades y resultados demuestran una evolución consistente en la investigación aplicada y teórica, con un impacto potencial en la transición energética y la sostenibilidad ambiental. Los trabajos se listan a continuación:

Fecha	Actividad
15/01/25	Artículo de investigación: "Influence of the Cu-Al₂O₃ ratio of the receiving tube in a 50 MW hybrid solar plant" . <i>Energies</i> 2025, 18(2), 409; https://doi.org/10.3390/en18020409
1/03/25	Investigador responsable del modelado de la hidrodinámica en el proyecto: "Implementación de un reactor bioelectroquímico de lecho fluidizado para la producción de biogás durante el tratamiento de aguas residuales municipales enriquecidas con azúcares fermentables" . Designado y financiado por la SECTEI en <i>Proyectos de Colaboración Interinstitucional UAM-IPN Innova Metro-Politec</i> (\$1,068,356.82). Primer año de marzo de 2024 a marzo de 2025. Segundo año de marzo de 2025 a marzo de 2026.
13/05/25	Artículo de congreso: "Producción integrada de fitoesteroles, glicerol y biodiésel ultralimpio a partir de aceites vegetales crudos" . <i>Avances en Ingeniería Química</i> Vol. 4 No.1.
13/05/25	Artículo de congreso: "Propuesta de una planta híbrida termosolar de 50 MWe en mulegé, baja california sur, México" . <i>Avances en Ingeniería Química</i> Vol. 4 No.1.
13/05/25	Artículo de congreso: "Evaluación termodinámica comparativa de dos configuraciones del ciclo linde para la licuefacción de aire" . <i>Avances en Ingeniería Química</i> Vol. 4 No.1.
13/05/25	Artículo de congreso: "Simulación del comportamiento térmico en tubos receptores compuestos para plantas solares híbridas" . <i>Avances en Ingeniería Química</i> Vol. 4 No.1.
13/05/25	Artículo de congreso: "Análisis termohidráulico al recuperador de calor de un ciclo de potencia de CO₂ supercrítico." . <i>Avances en Ingeniería Química</i> Vol. 4 No.1.
02/06/25	Revisor de la propuesta CBF-2025-I-3628 titulada: "Dinámica de los metabolitos volátiles y estables liberados durante el proceso de descomposición del"



	estiércol (sistema bovinos-leche) para aumentar la materia orgánica del suelo y favorecer su manejo agrícola sustentable ", presentada en el marco de la Convocatoria "Ciencia Básica y de Frontera 2025", modalidad Individual.
03/06/25	Expositor en el Foro UAM-IMP: Hacia un futuro energético nacional sostenible con el cartel " Producción sostenible de biogás con residuos agropecuarios: impulso energético para el desarrollo rural en México ". Evento realizado en las instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo
25/09/25	Expositor en el Congreso Internacional de Energía 2025 con el cartel: " Desalinización de agua de mar por cogeneración con turbina de gas ". Evento realizado en las instalaciones del Colegio de Ingenieros Petroleros.
25/09/25	Expositor en el Congreso Internacional de Energía 2025 con el cartel: " Proceso integrado sostenible para la coproducción de fitoesteroides, glicerol y biodiesel ultra-limpio a partir de aceites vegetales crudos mediante extracción supercrítica y destilación reactiva ". Evento realizado en las instalaciones del Colegio de Ingenieros Petroleros.
25/09/25	Expositor en el Congreso Internacional de Energía 2025 con el cartel: " Estudio exergético comparativo de un sistema de refrigeración simple y uno de doble cascada ". Evento realizado en las instalaciones del Colegio de Ingenieros Petroleros.
01/10/25	Expositor en el XXXVI Congreso Nacional de Termodinámica con el cartel: " Estudio energético de un sistema de generación de potencia con bombeo hacia adelante ". Evento realizado en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.
02/10/25	Expositor en el XXXVI Congreso Nacional de Termodinámica con el cartel: " Producción de biogás a partir de excretas de equino y bovino ". Evento realizado en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE PROYECTO
DE TESIS

FO-TESE-DA-87
TIT03-ANEXO PM



DIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

Fecha: 1 DE SEPTIEMBRE DE 2023

Profesores: DR. WENCESLAO CUAUHTÉMOC BONILLA BLANCAS Y DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES

Con base en el Capítulo Quinto, Del Personal Académico, artículo 22, fracción II, del Reglamento de Posgrado de esta Casa de Estudios, y Capítulo Sexto, Del Ingreso y Permanencia de los Alumnos, artículo 27, del mismo Reglamento, han sido ustedes designados como DIRECTORES DE PROYECTO DE TESIS para la supervisión y orientación del

PROYECTO DE TESIS: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL BIOGÁS MEDIANTE UN BIOFILTRO DE LECHO ESCURRIDO CON CONTROL DE LÓGICA DIFUSA

Con número de folio: POSG-MPEER/DIMMI/2023/08

Que para obtener el grado de maestría sustentará:

Nombre del alumno:
CRUZ

Apellido paterno

FIGUEROA

Apellido materno

MIGUEL ANGEL

Nombres (s)

Matrícula: 202220806

Agradeceré a usted se sirva brindar el mayor apoyo al mencionado alumno, con el fin de hacer posible que éste cumpla con los objetivos perseguidos con dicha actividad.

Elaboró:

DR. AGUSTÍN MORA ORTEGA
Coordinador de posgrado

Vo. Bo.:

DR. ÁNGEL MAZZ
Jefe de División





GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO

AVISO DE TERMINACION DE PROYECTO DE TESIS



FO-TESE-DA-89
TIT04-ANEXO PM

DIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

Folio: POSG-MPEER/DIMMI/2025/05
Fecha: 06 DE MAYO DE 2025

Después de las revisiones, observaciones y seguimiento de recomendaciones hechas al proyecto de tesis OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL BIOGÁS MEDIANTE UN BIOFILTRO DE LECHO ESCURRIDO CON CONTROL DE LÓGICA DIFUSA, que como requisito para obtener el grado de maestría presenta

CRUZ

Apellido paterno

FIGUEROA

Apellido materno

MIGUEL ANGEL

Nombres (s)

Matrícula: 202220806

Director de Proyecto Interno: DR. WENCESLAO CUAUHEMOC BONILLA BLANCAS y Externo: DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES, da por concluido su desarrollo para proceder a la impresión del trabajo correspondiente y la defensa pública del mismo.

Vo. Bo. COMITÉ TUTORIAL

[Redacted Signature]

DR. WENCESLAO CUAUHEMOC BONILLA BLANCAS

[Redacted Signature]

DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES

[Redacted Signature]

DR. MARTÍN SALZAR PEREYRA



[Redacted Signature]

MTRO. GUSTAVO ALBERTO NUNEZ ALVAREZ

Elaboró: [Redacted Signature] DR. WENCESLAO CUAUHEMOC BONILLA DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES Directores de Proyecto	Revisó: [Redacted Signature] DR. AGUSTÍN MORA URTEGA Coordinador de Posgrado	Vo. Bo.: [Redacted Signature] DR. ANGEL MA Jefe de División
---	---	--



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

DICTAMEN DE LIBERACIÓN DE PROYECTO
DE TESIS

FO-TESE-DA-90

TIT05-ANEXO PM



DIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

Fecha: 06 DE MAYO DE 2025

Datos generales

Nombre del alumno:

CRUZ

FIGUEROA

MIGUEL ANGEL

Apellido paterno

Apellido materno

Nombres (s)

Matrícula: 202220806

PROYECTO: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL BIOGÁS MEDIANTE UN BIOFILTRO DE LECHO ESCURRIDO CON CONTROL DE LÓGICA DIFUSA

DIRECTORES: DR. WENCESLAO CUAUHTÉMOC BONILLA BLANCAS Y DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES

Dictamen:

Con base en el registro No. POSG-MPEER/DIMMI/2023/08 correspondiente al periodo escolar 2023-2, asignado al proyecto de tesis OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL BIOGÁS MEDIANTE UN BIOFILTRO DE LECHO ESCURRIDO CON CONTROL DE LÓGICA DIFUSA y presentado por el alumno referido; y después de haber sido desarrolladas las actividades requeridas, el Comité Tutorial, conformado por los integrantes que firman al calce, ha determinado que SI (X) NO () han sido cubiertos en su totalidad los requisitos que permitan a esta División Académica liberar al alumno de los trámites académicos para tal efecto e iniciar el trámite de obtención de grado de maestría en la Unidad de Registro y Certificación de este Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Observaciones:

NINGUNA

Comité tutorial

DR. WENCESLAO CUAUHTÉMOC BONILLA BLANCAS

DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES

DR. MARTÍN SALAZAR PEREYRA

MTRO. GUSTAVO ALBERTO NUÑEZ ALVAREZ



Elaboró:

DR. AGUSTIN MORA ORTEGA
Coordinador de Posgrado

Revisó y Visto Bueno:

DR. ANGEL VAZQUEZ
Jefe de División

Enterado:

MTRO. JUAN CARLOS...
Director Académico



FOLIO 451

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC

Dirección de Apoyo y Desarrollo Académico
Unidad de Registro y Certificación

ACTA DE EXAMEN DE MAESTRÍA

En Ecatepec de Morelos, Estado de México, siendo las 14:10 horas del día Veintidós del mes de Mayo del año 2025, se reunió en Aula Sor Juana Inés de la Cruz del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, el jurado integrado por:

Presidente: Dr. Wenceslao Cuauhtémoc Bonilla Blancas
Secretario: Dr. Guillermo Benitez Olivares
Vocal: Mtro. Gustavo Alberto Nuñez Alvarez

El C. Ing. Miguel Angel Cruz Figueroa
con clave CURP CUFM951125HDFRGG09 egresado de esta institución con número de matrícula 202220806

En cumplimiento a lo dispuesto por el Reglamento de Posgrado, el sustentante fue examinado por su trabajo de TESIS, con el tema: Optimización del proceso de eliminación de contaminantes en el bioqás mediante un biofiltro de lecho escurrido con control de lógica difusa. 1.24 hrs.

En virtud de lo anterior procedió a la defensa del tema presentado, lo que tuvo una duración de _____

El jurado después de haber deliberado y tomado en consideración los antecedentes académicos del sustentante, acordó aprobar al C. con el siguiente veredicto: Unanimidad

Una vez hecho esto el sustentante procedió a tomar la protesta de Ley, a través de la cual se comprometió a servir a la humanidad y a su patria como Maestro en Eficiencia Energética y Energías Renovables por el bien de la sociedad y el engrandecimiento de México.

Siendo las 15:34 horas del día en que se actúa, se levantó la presente acta, asentándose la misma en el Libro de Actas de Examen de Maestría, número 05 a fojas 417, por lo que una vez escrita, leída y aprobada, la presente fue firmada por los integrantes del jurado para constancia.

Dr. Wenceslao [Redacted] Bonilla Blancas

[Redacted] PRESIDENTE

Dr. Guillermo [Redacted] Benitez Olivares

[Redacted] SECRETARIO

Mtro. Gustavo [Redacted] Nuñez Alvarez

[Redacted] VOCAL

Lcda. Maricela [Redacted] Reyes Alonso

JEFA DE LA UNIDAD DE REGISTRO Y CERTIFICACIÓN

AMIDIQ

Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.

La Academia Mexicana de Investigación y Docencia
en Ingeniería Química (AMIDIQ)

Otorga el presente

Reconocimiento

a:

Guillermo Benitez Olivares

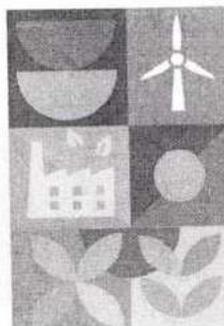
Por su participación como integrante del Comité Técnico del XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ



Dra Nelly Ramírez Corona
Presidenta
Consejo Directivo de la AMIDIQ
y Comité Organizador



Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia
Presidente
Comité Técnico



XLVI

Encuentro Nacional
de la AMIDIQ

La Ingeniería Química ante los
desafíos ambientales y energéticos

San José del Cabo, Baja California Sur, México. 13 al 16 de mayo de 2025

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

PROPUESTA DE UNA PLANTA HÍBRIDA TERMOSOLAR DE 50 MWE EN MULEGÉ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Guillermo Benítez Olivares^a, Alejandro Torres Aldaco^a, Raúl Lugo-Leyte^a, Sergio Castro-Hernández^a, Helen D. Lugo-Méndez^b

^a División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1a Sección, Alcaldía Iztapalapa, CDMX, 09310, México.

^b División de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Santa Fé Cuajimalpa, Alcaldía Cuajimalpa, CDMX, 05348, México.

Resumen

La propuesta de instalar una planta híbrida solar térmica de 50 MWe en Mulegé, Baja California Sur, México, es una solución innovadora para aprovechar el abundante potencial solar de la región. El diseño incluye un campo solar, donde se analiza la producción de vapor sobrecalentado durante las horas de máxima irradiación solar para evaluar el efecto de la proporción Cu-Al₂O₃ en el tubo receptor. Los resultados demuestran la capacidad conductiva del cobre para promover eficazmente la transferencia de calor al fluido de trabajo, con diferencias máximas de temperatura de 10.86 °C en la alúmina y 4.37 °C en el cobre. En contraste, la alúmina, que actúa como un reservorio térmico, presenta diferencias mínimas de temperatura de 0.25 °C y 0.04 °C, respectivamente. Es decir, opera como amortiguador frente a fluctuaciones térmicas y su capacidad para contrarrestar los efectos adversos de la inestabilidad térmica. En este caso se destaca la importancia de utilizar una combinación de materiales en el diseño del tubo receptor, donde el cobre mejora la eficiencia de transferencia de calor y la alúmina regula las fluctuaciones térmicas, reduciendo el riesgo de deformaciones por inestabilidad térmica. Este enfoque de ingeniería compuesta mitiga el riesgo de fallas estructurales, las cuales pueden ocurrir en tubos de cobre sin alúmina.

Introducción

Las plantas termosolares híbridas han sido diseñadas para abordar diversas problemáticas ambientales y sociales, contribuyendo a la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles. La integración de tecnologías solares con otras fuentes renovables o sistemas de almacenamiento permite reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuyendo así las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigando el cambio climático junto con sus impactos ambientales. Además de sus beneficios directos para el medio ambiente, estas soluciones fomentan una mayor concienciación sobre la importancia del uso de energía sostenible.

En los últimos años, los avances en el diseño de plantas termosolares han permitido el desarrollo de sistemas electrónicos programables para el monitoreo de parámetros ambientales y la gestión de funciones eléctricas en plantas solares térmicas. Estos sistemas mejoran el rendimiento de la planta, maximizan su eficiencia y contribuyen al ahorro energético. Uno de los enfoques tecnológicos más prometedores en este campo es la Generación Directa de Vapor (GDV), que utiliza concentradores cilindro-parabólicos para enfocar la energía solar sobre tubos receptores y generar vapor para accionar un sistema de generación de energía eléctrica. La GDV presenta ventajas como bajos costos operativos y alta eficiencia térmica, ya que evita el uso de intercambiadores de calor adicionales y reduce las pérdidas de energía durante la transferencia de calor [1].

En este contexto, se propone el diseño de una planta híbrida termosolar de 50 MWe ubicada en Mulegé, Baja California Sur, México. Esta región ofrece condiciones climáticas favorables para el aprovechamiento de la energía solar, lo que la convierte en un sitio idóneo para la implementación de esta tecnología. En este contexto, se propone la instalación de una planta híbrida solar térmica de 50 MWe que combina tecnologías avanzadas de transferencia de calor para optimizar la generación de energía. Este

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

estudio se centra en el diseño y evaluación del tubo receptor compuesto, donde se analizan los efectos térmicos y mecánicos asociados con diferentes proporciones de cobre y alúmina en condiciones de operación [2].

Descripción del sistema

Este estudio propone la instalación de una planta termosolar híbrida con generación directa de vapor de 50 MW_e en Mulegé, Baja California Sur, México. Esta ubicación cuenta con un alto potencial solar y se encuentra en una zona remota sin acceso a la red eléctrica nacional.

Como se muestra en la Figura 1, la planta híbrida termosolar está compuesta por un Campo Solar (CS) que opera durante el periodo de irradiación solar para producir vapor sobrecalentado, el cual se emplea como insumo en la turbina de alta presión (TAP) del ciclo de potencia. Los lazos concentradores del campo solar operan en un modo de paso único. Durante periodos de intermitencia o ausencia de radiación solar, el flujo procedente del CS se extrae en forma de vapor húmedo y se sobrecalienta mediante una caldera auxiliar (CA) para alcanzar las condiciones requeridas en la TAP.

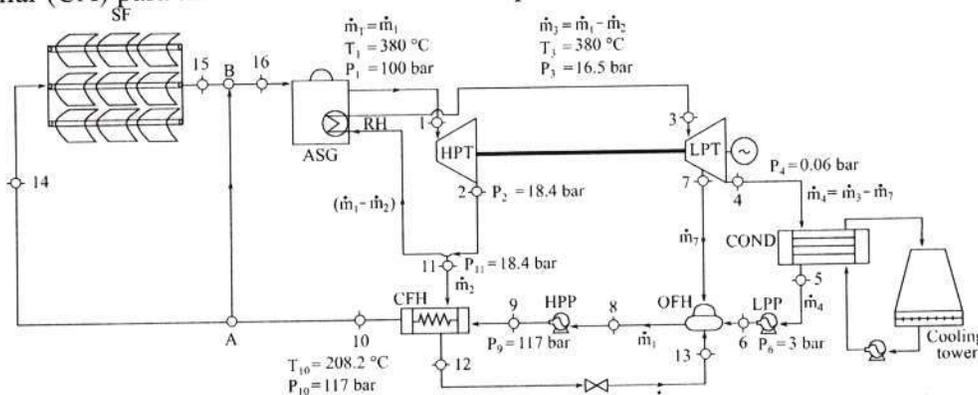


Figura 1. Diagrama esquemático de una planta solar térmica de generación solar directa de un solo paso.

La caldera auxiliar en la planta híbrida propuesta opera durante los periodos de irradiación solar insuficiente, activándose después de las 16:00 horas y desactivándose a las 10:00 horas del día siguiente. Su función es crítica para mantener una producción continua de electricidad, asegurando la viabilidad financiera de la planta aun sin sistemas de almacenamiento térmico. Aunque la caldera auxiliar no impacta directamente la eficiencia térmica global de la planta, su integración permite una generación estable al compensar las variaciones en la disponibilidad de energía solar. Esta decisión de diseño resalta la importancia de las configuraciones híbridas para equilibrar la integración de energías renovables con una producción de energía constante.

El vapor húmedo que sale de la TAP se recalienta en el recalentador (RH) hasta alcanzar vapor sobrecalentado a una temperatura de 380°C mediante la combustión de gas natural y posteriormente se dirige a la turbina de baja presión (TBP). El vapor húmedo que sale de la TBP se condensa en un condensador (COND) para obtener agua en estado de líquido saturado. La presión de este flujo de agua líquida se incrementa mediante una bomba de baja presión (BBP) para obtener agua comprimida, evitando el contraflujo entre las corrientes procedentes de la extracción de la TBP y del calentador cerrado (CCF). Para reducir el tamaño del CS, se realizan extracciones de vapor en la TAP y la TBP para precalentar los flujos de agua líquida suministrados al CS en los calentadores cerrados (CCF) y abiertos (CAF), respectivamente. La presión del agua que sale del CAF se incrementa hasta la requerida por el CS (en este caso, 117 bar) en la bomba de alta presión (BAP). Para satisfacer los requisitos de temperatura del agua al ingresar al CS, el flujo de agua que sale de la BAP es calentado en el CCF.

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

Para los requerimientos térmicos del ciclo de potencia, se hace un análisis en el flujo de agua y el calor requerido por el CS para generar 50 MW_e de potencia, estos fueron determinados mediante los balances de masa y energía en cada uno de los componentes de la planta. A partir de estos balances, se obtuvieron expresiones para los flujos másicos de agua y sus propiedades en los estados termodinámicos, los cuales fueron definidos en función de los parámetros de diseño.

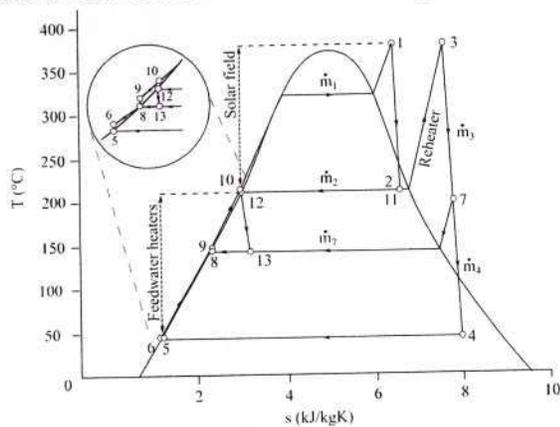


Figura 2. Diagrama T-s para el ciclo de potencia de una planta solar híbrida.

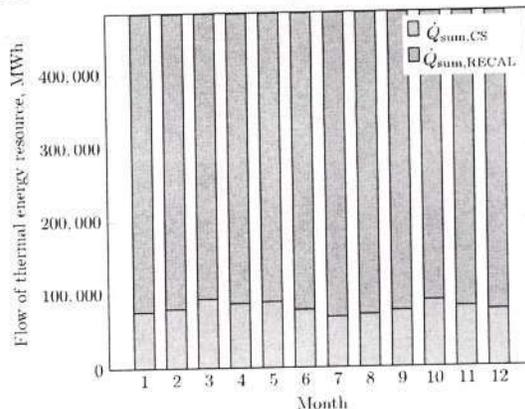


Figura 3. Flujo de calor generado por el componente del ciclo de potencia

Las extracciones de vapor en la TAP y TBP, utilizadas para precalentar el flujo de agua que ingresa al CS en los calentadores abiertos (CAF) y cerrados (CCF), corresponden a las curvas de extracción mostradas en el diagrama T-s del ciclo de potencia en la Figura 2. El flujo de calor Q_{sum} suministrado al ciclo de potencia es la suma de los flujos en el recalentador $Q_{sum,RH}$ y el generado por el campo solar $Q_{sum,SF}$, como se observa en la Figura 2.

Metodología

Se desarrolló un modelo numérico para analizar las dinámicas de temperatura y presión en la pared compuesta del tubo receptor. Se evaluó la variación de la temperatura máxima, ΔT_{max} , en función de la longitud del lazo concentrador y las proporciones de alúmina (10% y 50%). Los cálculos se realizaron en las regiones de precalentamiento y evaporación, considerando tiempos de 3, 6, 9, 12 y 15 minutos. Además, se evaluó la estabilidad térmica y mecánica del tubo receptor, identificando “zonas calientes” y puntos de inestabilidad que podrían comprometer su integridad estructural.

Resultados

La longitud, z , del tubo receptor es de 150 m, con un diámetro externo, r , es de 70 mm y un diámetro interno de 65 mm. En la región de precalentamiento, el incremento máximo de temperatura (ΔT_{max}) fue de aproximadamente 0.656 °C/m para una concentración del 10% de alúmina y de 0.354 °C/m para una concentración del 50%. Las soluciones numéricas mostraron un estado estacionario rápido, con diferencias de temperatura que tienden a cero (0.03 a 1.47×10^{-2} °C) entre pasos de tiempo consecutivos. En la región de evaporación, ΔT_{max} presentó cambios abruptos, alcanzando un máximo global de 25.2 °C para una concentración del 50% de alúmina en $z = 729.3$ m. Esta área, entre 744.6 y 760.1 m, también registró incrementos de presión de 0.128 a 1.94 bar. Los resultados indican que el cobre mejora significativamente la transferencia de calor, mientras que la alúmina actúa como regulador térmico, minimizando deformaciones estructurales. Sin embargo, las inestabilidades mecánicas en la porción de cobre y las inestabilidades térmicas en la porción de alúmina destacan la necesidad de un diseño compuesto equilibrado. Estos hallazgos son consistentes con evidencia experimental previa sobre el

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

ablandamiento y deformación de los tubos receptores, confirmando la viabilidad de esta tecnología en sistemas solares avanzados [3].

Los requerimientos de flujo de calor que el Campo Solar (SF) y el Recalentador (RH) deben proporcionar para suministrar 483,228.00 MWh/mes al ciclo de potencia y permitir la generación de 50 MW_e, operando al 100% durante todo el año, se presentan en la Figura 3. El flujo de calor aportado por el SF varió entre el 14% y el 19% del requerimiento total de energía térmica, alcanzando su mínimo en invierno y su máximo a principios de la primavera. Debido a esta intermitencia solar, el Generador de Apoyo (ASG) suministra entre el 81% y el 86% de la energía térmica al ciclo de potencia. Con base en estos resultados, se realizó el dimensionamiento del SF de la planta termosolar híbrida [4].

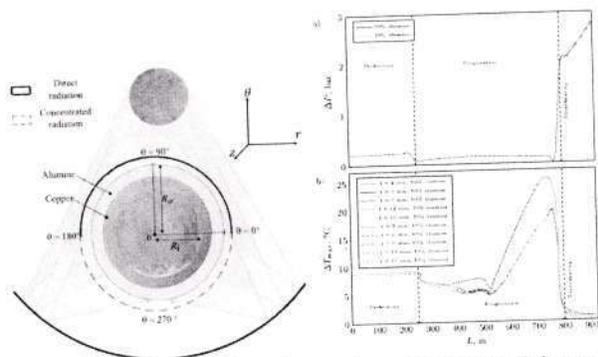


Figura 4. Análisis de los efectos de r y θ sobre la diferencia máxima de temperatura en una pared compuesta (ΔT_{max}) en los tiempos $t = 3, 6, 9, 12$ y 15 min.

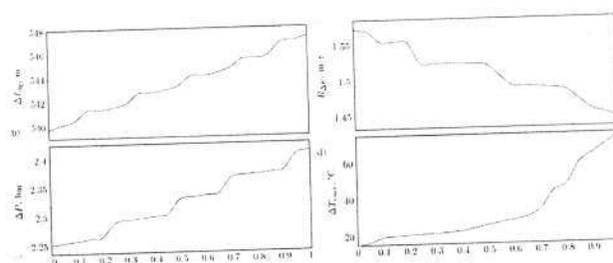


Figura 5. Efecto de la proporción de alúmina en la pared compuesta del tubo receptor sobre a) la longitud de la región de evaporación, b) la caída de presión, c) la magnitud de la inestabilidad del flujo y d) la diferencia máxima de temperatura en la pared del tubo en la región de evaporación.

Conclusiones

Se concluye que la integración de materiales compuestos en los tubos receptores es esencial para optimizar el desempeño de plantas solares térmicas híbridas. El cobre se destaca por su capacidad conductiva para favorecer la transferencia de calor, mientras que la alúmina aporta estabilidad térmica y reduce el riesgo de deformaciones estructurales. Sin embargo, las inestabilidades térmicas y mecánicas observadas subrayan la importancia de equilibrar las proporciones de ambos materiales en el diseño para evitar fallos prematuros y mejorar la durabilidad del sistema.

Los resultados numéricos obtenidos muestran una rápida estabilización térmica del sistema y validan la viabilidad de los tubos receptores compuestos en condiciones operativas reales. Se observó que el uso de cobre permite alcanzar altas tasas de transferencia térmica, mientras que la alúmina contribuye a un control más uniforme de la temperatura, minimizando gradientes térmicos abruptos y reduciendo el riesgo de fatiga térmica. No obstante, las inestabilidades mecánicas en la porción de cobre y las térmicas en la de alúmina resaltan la necesidad de optimizar la configuración geométrica y la distribución de materiales en los tubos receptores.

Además, los análisis energéticos indicaron que el campo solar contribuye con hasta un 19% de la demanda térmica total en los meses de mayor irradiancia, lo que subraya la importancia de estrategias de hibridación para garantizar un suministro energético estable. La integración de una caldera auxiliar resulta fundamental para compensar la intermitencia solar y mantener la operación continua de la planta, optimizando su viabilidad económica y operativa.

Desde una perspectiva económica, la implementación de plantas solares híbridas como la propuesta en Mulegé puede representar una inversión rentable a largo plazo, especialmente en regiones con alta irradiancia solar y limitaciones en el acceso a redes eléctricas nacionales. La reducción en el consumo de

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

combustibles fósiles y la estabilidad en la producción eléctrica pueden traducirse en menores costos operativos y en una disminución de la dependencia de fuentes de energía convencionales. Además, el desarrollo de tecnologías avanzadas en tubos receptores puede reducir costos de mantenimiento y extender la vida útil de los componentes clave del sistema.

En cuanto a futuras líneas de investigación, se recomienda explorar nuevas combinaciones de materiales para los tubos receptores, con el objetivo de mejorar aún más la eficiencia térmica y la resistencia mecánica. Estudios adicionales sobre técnicas de manufactura avanzadas, como recubrimientos selectivos o nanotecnología, podrían contribuir a una mejor gestión del calor y a una mayor durabilidad de los componentes. Asimismo, el análisis de sistemas de almacenamiento térmico acoplados a la planta híbrida permitiría evaluar su impacto en la estabilidad del suministro eléctrico y en la rentabilidad del sistema en distintas condiciones operativas.

En términos de aplicabilidad, este estudio confirma que la hibridación de plantas solares térmicas con tecnologías de almacenamiento o apoyo mediante combustibles auxiliares es una estrategia clave para la transición energética sostenible. La propuesta de una planta híbrida de 50 MWe en Mulegé representa un modelo replicable para regiones con alto potencial solar y desafíos de intermitencia energética. Asimismo, las metodologías numéricas empleadas pueden extenderse a otros contextos industriales para mejorar el diseño y la eficiencia de sistemas de generación termoeléctrica basados en energía solar.

Referencias

1. Wright, S.A.; Pickard, P.S.; Fuller, R.; Radel, R.F.; Vernon, M.E. "Supercritical CO₂ Brayton cycle power generation development program and initial test results". *ASME power conference 2009*, pp. 573–583
2. Stutz, B.; Le Pierres, N.; Kuznik, F.; Johannes, K.; Del Barrio, E.P.; Bedecarrats, J.P.; Gibout, S.; Marty, P.; Zalewski, L.; Soto, J. "Storage of thermal solar energy". *Comptes Rendus Physique* 2017, 18, 401–414
3. Wang, F.; Shuai, Y.; Yuan, Y.; Liu, B. "Effects of material selection on the thermal stresses of tube receiver under concentrated solar irradiation". *Materials & Design* 2012, 33, 284–291.
4. Rizvi, A.A.; Danish, S.N.; El-Leathy, A.; Al-Ansary, H.; Yang, D. "A review and classification of layouts and optimization techniques used in design of heliostat fields in solar central receiver systems". *Solar Energy* 2021, 218, 296–311.

Propuesta de una planta híbrida termosolar de 50 mwe en Mulegé, Baja California Sur, México

Guillermo Benítez Olivares^a, Alejandro Torres Aldaco^a, Raúl Lugo-Leyte^a, Sergio Castro-Hernández^a, Helen D. Lugo-Méndez^b

^aDivisión de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1a Sección, Alcaldía Iztapalapa, CDMX, 09310, México.

^bDivisión de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Santa Fé Cuajimalpa, Alcaldía Cuajimalpa, CDMX, 05348, México.

Introducción

La propuesta de instalar una planta híbrida solar térmica de 50 MWe en Mulegé, Baja California Sur, México, es una solución innovadora para aprovechar el abundante potencial solar de la región. El diseño incluye un campo solar, donde se analiza la producción de vapor sobrecalentado durante las horas de máxima irradiación solar para evaluar el efecto de la proporción Cu-Al₂O₃ en el tubo receptor. Los resultados demuestran la capacidad conductiva del cobre para promover eficazmente la transferencia de calor al fluido de trabajo, con diferencias máximas de temperatura de 10.86 °C en la alúmina y 4.37 °C en el cobre. En contraste, la alúmina, que actúa como un reservorio térmico, presenta diferencias mínimas de temperatura de 0.25 °C y 0.04 °C, respectivamente. Es decir, opera como amortiguador frente a fluctuaciones térmicas y su capacidad para contrarrestar los efectos adversos de la inestabilidad térmica. En este caso se destaca la importancia de utilizar una combinación de materiales en el diseño del tubo receptor, donde el cobre mejora la eficiencia de transferencia de calor y la alúmina regula las fluctuaciones térmicas, reduciendo el riesgo de deformaciones por inestabilidad térmica. Este enfoque de ingeniería compuesta mitiga el riesgo de fallas estructurales, las cuales pueden ocurrir en tubos de cobre sin alúmina.

Palabras clave: Planta solar híbrida; transferencia de calor; tubo receptor; cobre y alúmina; inestabilidad térmica

Metodología

Este estudio propone la instalación de una planta termosolar híbrida con generación directa de vapor de 50 MWe en Mulegé, Baja California Sur, México. Esta ubicación cuenta con un alto potencial solar y se encuentra en una zona remota sin acceso a la red eléctrica nacional. Como se muestra en la Figura 1, la planta híbrida termosolar está compuesta por un Campo Solar (CS) que opera durante el período de irradiación solar para producir vapor sobrecalentado, el cual se emplea como insumo en la turbina de alta presión (TAP) del ciclo de potencia. Los lazos concentradores del campo solar operan en un modo de paso único. Durante períodos de intermitencia o ausencia de radiación solar, el flujo procedente del CS se extrae en forma de vapor húmedo y se sobrecalienta mediante una caldera auxiliar (CA) para alcanzar las condiciones requeridas en la TAP.

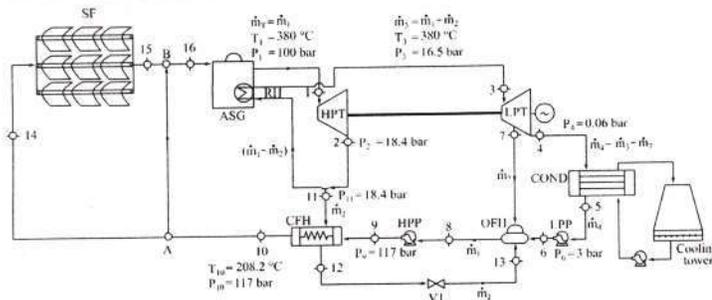


Figura 1. Diagrama de la planta híbrida termosolar propuesta con un Campo Solar.

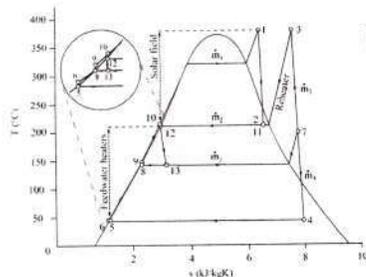


Figura 2. Diagrama T-s para el ciclo de potencia de una planta solar híbrida

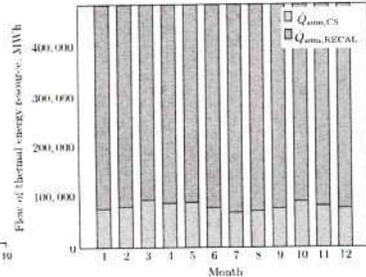


Figura 3. Flujo de calor generado por el componente del ciclo de potencia

Resultados

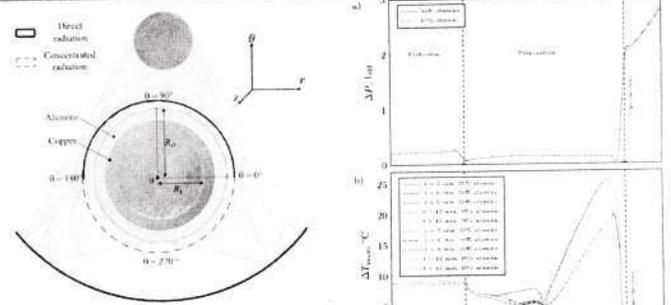


Figura 4. Análisis de los efectos de r y θ sobre la diferencia máxima de temperatura en una pared compuesta (ΔT_{max}) en los tiempos $t = 3, 6, 9, 12$ y 15 min

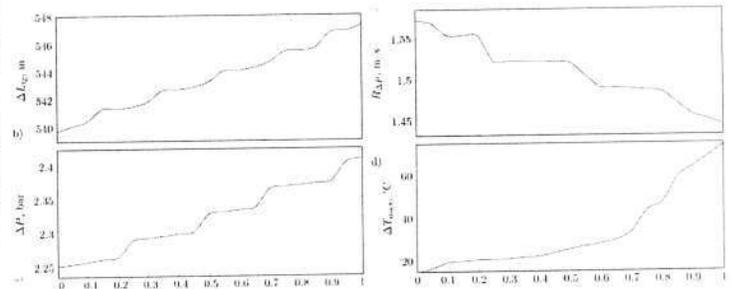


Figura 5. Efecto de la proporción de alúmina en la pared compuesta del tubo receptor sobre a) la longitud de la región de evaporación, b) la caída de presión, c) la magnitud de la inestabilidad de flujo y d) la diferencia máxima de temperatura en la pared del tubo en la región de evaporación

Conclusiones

Se concluye que la integración de materiales compuestos en los tubos receptores es esencial para optimizar el desempeño de plantas solares térmicas híbridas. El cobre se destaca por su capacidad conductiva para favorecer la transferencia de calor, mientras que, la alúmina aporta estabilidad térmica y reduce el riesgo de deformaciones estructurales. Sin embargo, las inestabilidades térmicas y mecánicas observadas subrayan la importancia de equilibrar las proporciones de ambos materiales en el diseño. Además, los resultados numéricos respaldan la aplicación de esta tecnología en condiciones operativas reales, contribuyendo al desarrollo de sistemas energéticos sostenibles. Este enfoque ofrece una solución viable para la generación de energía renovable en regiones con alta irradiación solar, como Mulegé, y puede ser escalable para su implementación en otros contextos industriales.

Referencias

Wright, S.A.; Pickard, P.S.; Fuller, R.; Radel, R.F.; Vernon, M.E. "Supercritical CO₂ Brayton cycle power generation development program and initial test results". *ASME power conference 2009*, pp. 573–583

Stutz, B.; Le Pierres, N.; Kuznik, F.; Johannes, K.; Del Barrio, E.P.; Bedecarrats, J.P.; Gibout, S.; Marty, P.; Zalewski, L.; Soto, J. "Storage of thermal solar energy". *Comptes Rendus Physique* 2017, 18, 401–414

Wang, F.; Shuai, Y.; Yuan, Y.; Liu, B. "Effects of material selection on the thermal stresses of tube receiver under concentrated solar irradiation". *Materials & Design* 2012, 33, 284–291.

Rizvi, A.A.; Danish, S.N.; El-Leathy, A.; Al-Ansary, H.; Yang, D. "A review and classification of layouts and optimization techniques used in design of heliostat fields in solar central receiver systems". *Solar Energy* 2021, 218, 296–311.

AMIDIQ

Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.

La Academia Mexicana de Investigación y Docencia
en Ingeniería Química (AMIDIQ)

Otorga el presente

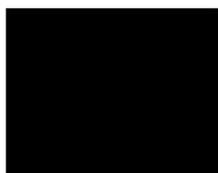
RECONOCIMIENTO

a:

Guillermo Benítez Olivares

Por su participación como moderador en el área de FENÓMENOS DE TRANSPORTE

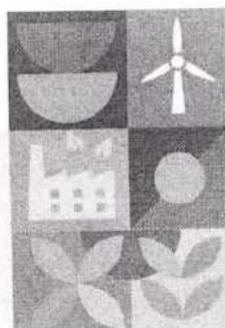
Durante el XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ, La Ingeniería Química ante los desafíos ambientales y energéticos, realizado en San José del Cabo, Baja California Sur, México, del 13 al 16 de mayo de 2025.



Dra Nelly Ramírez Corona
Presidenta
Consejo Directivo de la AMIDIQ
y Comité Organizador



Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia
Presidente
Comité Técnico



XLVI

Encuentro Nacional
de la AMIDIQ

La Ingeniería Química ante los
desafíos ambientales y energéticos

San José del Cabo, Baja California Sur, México. 13 al 16 de mayo de 2025

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

PRODUCCIÓN INTEGRADA DE FITOESTEROLES, GLICEROL Y BIODIÉSEL ULTRALIMPIO A PARTIR DE ACEITES VEGETALES CRUDOS

Eduardo Salvador Pérez-Cisneros^{a*}, Verónica Rodríguez-López^b, Edgar Iván Murillo-Andrade^a, Guillermo Benítez-Olivares^a

^a División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1a Sección, Alcaldía Iztapalapa, CDMX, 09310, México.

^b Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Farmacia, Av. Universidad 1001 Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México.

Resumen

En este trabajo se ha desarrollado un proceso integrado de extracción supercrítica (ScE) - destilación al vacío (VcD) - destilación reactiva (RD) para producir fitosteroles (β -sitosterol y estigmasterol), glicerol y biodiesel ultra limpio a partir de aceites vegetales crudos. El proceso integrado consta de dos secciones principales: i) una sección de extracción supercrítica - destilación al vacío, en la cual utilizando CO_2 y una mezcla $\text{CO}_2\text{-CH}_3\text{OH}$ como fluidos supercríticos, se lleva a cabo la separación de triglicéridos de fitosteroles, compuestos fito-glucosídicos y ácidos grasos libres (FFA). Además, se realiza la separación de fitosteroles, compuestos fito-glucosídicos y ácidos grasos mediante VcD; ii) una segunda sección donde se utiliza una columna RD para realizar las reacciones de transesterificación de triglicéridos para producir biodiesel ultra limpio y glicerol. Se ha analizado el efecto de diversas condiciones operativas en las diferentes secciones del proceso. Se encontró que la presión de operación y la relación de alimentación de la mezcla $\text{CO}_2\text{-CH}_3\text{OH}$ alimentada a la columna ScE son las variables clave para modificar la concentración de fitosteroles producida en la primera sección. La relación de flujo de metanol a triglicérido en la sección RD determina la conversión completa para producir un biodiesel ultra limpio de alta calidad.

Introducción

Los aceites vegetales contienen compuestos en pequeñas cantidades que afectan su calidad y valor nutricional, como los fitoesteroles, tocoferoles y ceras. Los fitoesteroles son esteroides vegetales con funciones estructurales y biológicas similares al colesterol [1]. Se ha demostrado que poseen propiedades protectoras contra diversas enfermedades crónicas, incluyendo enfermedades cardiovasculares, hepáticas, diabetes y cáncer [2]. En particular, se ha reportado que una dieta rica en fitoesteroles puede reducir el riesgo de cáncer en un 20 % [3].

Desde un punto de vista estructural, los fitoesteroles más comunes en aceites vegetales incluyen campesterol, β -sitosterol y estigmasterol, los cuales presentan una estructura similar al colesterol, diferenciándose por una cadena adicional de hidrocarburo en la posición C-24. Estos compuestos han sido identificados en diversas fuentes vegetales y su concentración varía según el tipo de aceite [4].

A pesar de los beneficios para la salud asociados a los fitoesteroles en los aceites vegetales, estos aceites también han sido utilizados en la producción de biocombustibles. Dentro de su composición, los glucósidos de esterol (SGs) ocurren naturalmente en aceites y grasas vegetales en su forma acilada.

Durante la conversión a biodiésel, estos compuestos se transforman en SGs no acilados, los cuales han sido identificados como un factor que contribuye a problemas de fluidez en el biodiésel y sus mezclas. Debido a su alto punto de fusión (240 °C) e insolubilidad en biodiésel y diésel, los SGs pueden considerarse como partículas sólidas finamente dispersas, promoviendo la cristalización de otros compuestos y aumentando el riesgo de obstrucción de filtros. Por lo tanto, es necesario desarrollar un

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

proceso que elimine los SGs en la producción de biodiésel, asegurando al mismo tiempo la recuperación eficiente de fitosteroles de alto valor para la salud.

El objetivo del presente trabajo es desarrollar y optimizar un proceso intensificado e integrado que ScE, VcD y RD para la producción simultánea de fitosteroles (β -sitosterol y estigmasterol), glicerol y biodiésel ultra limpio a partir de aceites vegetales crudos. Este proceso busca maximizar la eficiencia en la separación y purificación de compuestos de alto valor agregado, como los fitosteroles, mientras se obtiene biodiésel de alta calidad y glicerol como subproducto.

Metodología

Para desarrollar el proceso integrado-intensificado, se consideraron dos aspectos metodológicos principales. Primero para la determinación de las propiedades termodinámicas requeridas de la mezcla compleja, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de las propiedades termodinámicas de los componentes presentes en los aceites vegetales crudos, incluyendo triglicéridos, fitosteroles, compuestos fito-glucosídicos y FFA. Este estudio permitió establecer las condiciones óptimas de operación para cada etapa del proceso, garantizando la eficiencia en la separación y purificación de los compuestos de interés.

El segundo aspecto fue la optimización de las condiciones operativas para el proceso de ScE, donde se investigó el efecto de variables clave, como la presión de operación, la temperatura y la relación de alimentación de la mezcla $\text{CO}_2\text{-CH}_3\text{OH}$, en la eficiencia de la extracción supercrítica. Estos parámetros se optimizaron para maximizar la recuperación de fitosteroles y otros compuestos bioactivos, asegurando una alta pureza y rendimiento.

A partir de ello, el proceso propuesto se divide en dos secciones principales, la sección de extracción ScE-VcD donde se utiliza CO_2 y una mezcla de $\text{CO}_2\text{-CH}_3\text{OH}$ como fluidos supercríticos para separar selectivamente triglicéridos, fitosteroles, compuestos fito-glucosídicos y FFA. También se hace uso de la VcD, la cual permite la purificación de fitosteroles y otros compuestos bioactivos, optimizando las condiciones de presión y temperatura para maximizar su recuperación.

La siguiente es la sección de RD la cual se emplea para llevar a cabo la transesterificación de triglicéridos en presencia de metanol, produciendo biodiésel ultra limpio y glicerol. En este paso se analizó la influencia de la relación de flujo de metanol a triglicérido en la conversión completa de los triglicéridos, garantizando la producción de un biodiésel que cumpla con los estándares internacionales de calidad.

Adicionalmente, este proceso tiene un enfoque innovador al integrar potencialmente una etapa de captura de CO_2 , lo que no solo mejora la sostenibilidad del proceso, sino que también contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esta integración representa un avance significativo en términos de economía circular y eficiencia ambiental, alineándose con los principios de la química verde y la biorrefinería. Análisis termodinámico de la mezcla de fitosteroles-glucósidos.

Para la simulación del proceso intensificado-integrado, se utilizó un aceite vegetal crudo de palma con la siguiente composición: trioleína (0.488172 % p/p), tripalmitina (0.465289), ácido oleico (0.044125), β -sitosterol (0.0004), estigmasterol (0.0001), α -tocoferol (0.001), β -caroteno (0.0005), glucósido acilado de β -sitosterol (0.00036) y glucósido de β -sitosterol (0.000055). Dado que no existen suficientes datos experimentales sobre las propiedades termodinámicas de los esteroides y SGs, fue necesario utilizar métodos de contribución de grupos para su estimación.

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

Aunado a ello para la predicción de propiedades termodinámicas se analizaron las estructuras moleculares de los fitoesteros y glucósidos mediante la representación en Figura 1, donde se observa la diferencia estructural entre el colesterol, β -sitosterol y estigmasterol, así como la presencia de grupos funcionales clave en los glucósidos. Para la estimación de las propiedades termodinámicas, se utilizó la herramienta computacional NIST ProPred [6]. La Tabla 1 muestra una selección de las propiedades calculadas para β -sitosterol, estigmasterol y glucósido de β -sitosterol, evidenciando variaciones notables entre estos compuestos.

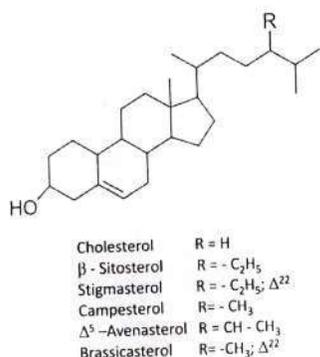


Figura 1. Estructura del estero. Reproducida a partir de lípidos [5].

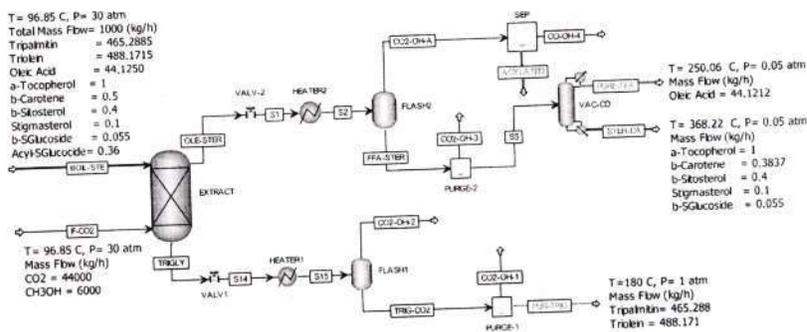


Figura 2. Proceso ScE-VcD-RD intensificado e integrado. La corriente PUR-TRIG se enfría a 70 °C y se envía a la segunda sección para producir biodiésel y glicerol ultralimpios.

La Figura 2 muestra la sección del diagrama de flujo óptimo ScE-Vc obtenida después de una simulación intensiva para producir triglicéridos puros en la parte inferior de la columna de extracción supercrítica y la separación de los fitoesteros de los ácidos grasos libres (FFA) en la columna de destilación al vacío. Se encontró que se requerían 30 etapas de equilibrio para la columna de extracción supercrítica y 10 etapas para la destilación al vacío a P = 0.05 atm.

Parámetro	Unidades	β -Sitosterol	Stigmasterol	β -Sitosterol-Glucoside
MW		414.715	412.7	576.858
w		1.05429	1.0631	0.0913968
Tb	K	778.05	778.05	1456.81
Pc	atm	11.054	11.23	8.14
Tc	K	953.05	953.65	1977.11

Tabla 1. Propiedades termodinámicas calculadas utilizando ProPred

Para obtener la sección óptima del diagrama de flujo ScE-Vc, fue necesario variar, en primer lugar, la presión operativa de la columna ScE de 5 a 40 atm y, monitorear la cantidad de triglicérido en la parte superior de la columna y, en segundo lugar, ajustar la relación CO₂/metanol (de 0 a 10) alimentada a la columna ScE, observando la pureza de los triglicéridos en la parte inferior de la columna. Además, para la columna de destilación Vc, se modificó la presión operativa (de 1 a 0.02 atm) y se verificó la pureza de los ácidos grasos libres en la parte superior de la columna. Cabe señalar que los equipos PURGE1, PURGE2 y SEP pueden considerarse como membranas específicas para separar las corrientes residuales de CO₂.

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

de 10 etapas de equilibrio a 0.05 atm garantizó la obtención de productos con alta pureza, eliminando parcialmente el β -caroteno en la corriente acilada.

El modelado termodinámico empleado, basado en ecuaciones de estado y métodos de contribución de grupos, se validó como una herramienta predictiva robusta para describir los equilibrios de fases en sistemas asimétricos. Además, la columna RD de 20 etapas de equilibrio, con 15 etapas reactivas, logró la conversión completa de los triglicéridos en biodiésel y glicerol, asegurando un proceso altamente eficiente y alineado con estándares industriales.

Desde una perspectiva tecnológica y ambiental, la recuperación y reciclaje del fluido supercrítico CO_2 - CH_3OH a partir de las unidades FLASH1 y FLASH2 en la sección ScE-VcD, así como el reciclaje de metanol en la columna RD, mejoran la sostenibilidad y viabilidad económica del proceso. Este enfoque optimizado no solo contribuye a la valorización de aceites vegetales crudos mediante una alternativa escalable y eficiente, sino que también abre nuevas oportunidades para el desarrollo de biorrefinerías avanzadas con aplicaciones en la obtención de bioproductos de alto valor añadido, como antioxidantes naturales y lípidos especializados.

En este caso se propone que los siguientes estudios se centren en la evaluación económica y energética del proceso intensificado-integrado, así como en la incorporación de una sección de captura de CO_2 para minimizar el impacto ambiental. Adicionalmente, se explorará el uso de nuevos fluidos supercríticos y catalizadores más eficientes en la destilación reactiva, con el objetivo de ampliar el alcance y la competitividad de esta tecnología en la producción de biocombustibles y compuestos de alto valor industrial.

Referencias

- [1] Yang, R., et al. "Phytosterol contents of edible oils and their contributions to estimated phytosterol intake in the Chinese diet. *Foods* 8: 334." 2019,
- [2] Inmok Lee, Lisa M. Pfalzgraf, George B. Poppe, Erica Powers and Troy Haines, 2007, The Role of Sterol Glucosides on Filter Plugging, *Biodiesel Magazine*, April 6, 1-4.
- [3] Ju, Young H., et al. " β -sitosterol, β -sitosterol glucoside, and a mixture of β -sitosterol and β -sitosterol glucoside modulate the growth of estrogen-responsive breast cancer cells in vitro and in ovariectomized athymic mice." *The Journal of nutrition* 134.5 (2004): 1145-1151.
- [4] Shahzad, Naiyer, et al. "Phytosterols as a natural anticancer agent: Current status and future perspective." *Biomedicine & Pharmacotherapy* 88 (2017): 786-794.
- [5] Abou-Donia, S. A., & El-Agamy, S. I. (1993). Ghee. *Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*, (eds. R. Macrae, RK Robinson & MJ Sadler), Vol. 6.



Cd. de México 3 de marzo de 2025

CONSEJO
DIRECTIVO
2023-2025

Estimado **Dr. Guillermo Benítez Olivares**

ASUNTO: Invitación para moderar una sesión en el
XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

Dra. Nelly Ramírez
Corona
PRESIDENTA

En nombre del Comité Técnico del **XLVI Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. (AMIDIQ)** que se llevará a cabo en el Centro de Convenciones del Hotel GR Solaris Lighthouse, en la ciudad de San José del Cabo, Baja California Sur, nos es grato extenderle una cordial invitación para participar como moderador de la siguiente sesión de presentación de trabajos orales:

Dr. Fernando Israel
Gómez Castro
VICEPRESIDENTE

Sesión I del área de Fenómenos de Transporte
El miércoles 14 de Mayo de 09:00 - 10:40 hrs. en en salón VIGÍA

Dra. Sara Núñez
Correa
SECRETARIA

Su función como moderador consiste en:

1. Abrir y dar la bienvenida a la sesión correspondiente.
2. Presentar de forma breve al ponente: proporcionar su nombre, y la institución/organización a la que pertenece. Desafortunadamente, no contamos con tiempo suficiente para dar más detalles personales de cada ponente.
3. Cuidar los tiempos establecidos de la sesión considerando que **NO** se debe adelantar ni retrasar ninguna presentación. Se sugiere entonces recordar a cada ponente el tiempo total de su presentación y dar un aviso al ponente faltando 5 y 1 min para que finalice el tiempo de su presentación. De esta forma, el ponente podrá ajustar su discurso para finalizar a tiempo.
4. Moderar la sesión de preguntas a los ponentes

Dra. Aida Alejandra
Pérez Fonseca
TESORERA

Dra. Adela Irmene
Ortiz López
**VOCAL DE
INVESTIGACIÓN**

Durante la sesión, usted contará con el apoyo de una persona del STAFF AMIDIQ.

Dr. Antioco López
Molina
**VOCAL DE
DOCENCIA**

Agradecemos de antemano su colaboración y esperamos su amable confirmación a más tardar el **día 14 de marzo** del presente.

Es importante mencionar que esta invitación no exime al moderador de su pago de inscripción al evento.

Sin otro particular por el momento, le enviamos un cordial saludo y esperamos verlo en San José del Cabo, Baja California Sur.

Atentamente

Dra. Helen Lugo Méndez

Responsable del área de Ingeniería de Fenómenos de Transporte

Comité Técnico

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ A.C.

EVALUACIÓN TERMODINÁMICA COMPARATIVA DE DOS CONFIGURACIONES DEL CICLO LINDE PARA LA LICUEFACCIÓN DE AIRE

Maria Fernanda Garcia-López, Sergio Castro Hernández, Helen D. Lugo Méndez, Guillermo Benítez Oliveres, Alejandro Torres Aldaco, Raúl Lugo Leyte.

INTRODUCCIÓN

El ciclo Linde es fundamental para la licuefacción de gases a bajas temperaturas, con amplias aplicaciones industriales y científicas. Mientras el análisis energético se centra en la conservación de energía, el análisis exérgico, basado en la segunda ley de la termodinámica, permite identificar y cuantificar las pérdidas irreversibles del proceso [1]. Esto es clave para optimizar el ciclo, ya que facilita evaluar el desempeño de sus componentes, especialmente los intercambiadores de calor y compresores multietapa, cuyo diseño eficiente reduce significativamente la destrucción de exergía [2, 3].

OBJETIVOS

- Evaluar los procesos termodinámicos (análisis energético y exérgico) del ciclo Linde.
- Identificar los procesos que generan mayores irreversibilidades en el ciclo Linde.
- Establecer condiciones para aumentar la eficiencia exérgica del ciclo.

METODOLOGÍA

Consideraciones

- El aire aspirado en el proceso de compresión entra a condiciones ambiente de presión y temperatura.
- No se consideran las caídas de presión en el intercambiador de calor.
- Se desprecian las energías cinética y potencial del flujo de materia.

Tabla 1. Condiciones de operación del Ciclo Linde.

P_1 (bar)	T_1 (°C)	P_2 (bar)	T_7 (°C)	η_{ELE} (-)	η_{MEC} (-)	η_{TIC} (-)	η_{SR} (-)	s_{ref} (kJ/kg°C)	h_{ref} (kJ/kg)
1	19.85	200	14.85	0.95	0.90	0.70	0.8	6.84	293.26

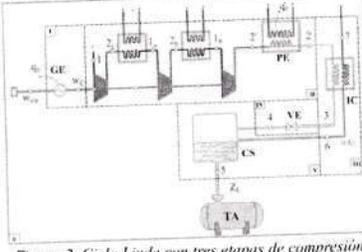
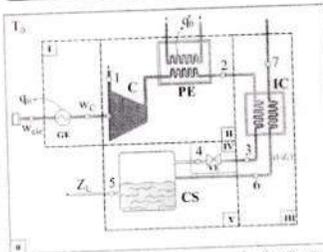


Figura 1. Ciclo Linde con compresión isotérmica. Figura 2. Ciclo Linde con tres etapas de compresión.

ANÁLISIS ENERGÉTICO

Ecuación de estado del ciclo Linde

$$\left(\frac{\partial P}{\partial h}\right)_T \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_h = -1$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial h}\right)_T (c_p)(\mu)_h = -1$$

Límites termodinámicos

- La presión mínima a la descarga del compresor, que corresponde a la presión crítica.
- La presión máxima de descarga del compresor, que corresponde a la presión de inversión, para extraer la máxima cantidad de gas licuado.
- La temperatura máxima límite a la entrada de la válvula de expansión, que se determina mediante la entalpía del vapor saturado seco a la presión de admisión.

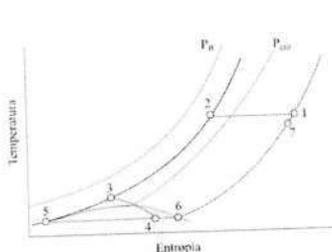


Figura 3. Diagrama Temperatura-Entropía para el arreglo con compresión isotérmica.

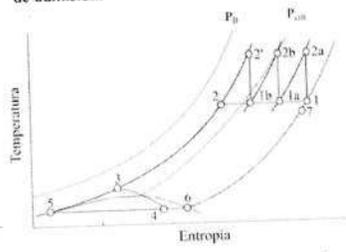


Figura 4. Diagrama Temperatura-Entropía para el arreglo con tres etapas de compresión.

Parámetros de desempeño

Z_L	m_h	Compresión isotérmica	Compresión por etapas
$\frac{(h_1 - h_2) - q_{L1}}{h_1 - h_4}$	$\frac{1}{Z_L}$	$w_{iso} = T_c R \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$	$w_c = \frac{3c_p T_c}{\eta_{SR}} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$

CONCLUSIÓN

En conclusión, el análisis comparativo del ciclo Linde demuestra que la compresión isotérmica es más eficiente en términos de trabajo requerido y genera menores irreversibilidades en comparación con la compresión en tres etapas. Aunque el trabajo necesario para la compresión en tres etapas es del 38.49% mayor que el de la compresión isotérmica, este aumento también impacta directamente en las irreversibilidades del sistema, incrementándolas en un 27.05%. Por lo tanto, una manera de reducir las irreversibilidades en la compresión por etapas es incrementando el número de etapas, acercando así el proceso a una compresión isotérmica.

REFERENCIAS

[1] A. Bejan, G. Tsatsaronis, and M. Moran, Thermal Design and Optimization. New York: John Wiley & Sons, 1996.
 [2] J. Szargut, D. R. Morris, and F. R. Steward, Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes. New York: Hemisphere Publishing, 1988.
 [3] T. J. Kotas, The Exergy Method of Thermal Plant Analysis. London: Butterworths, 1985.

ANÁLISIS EXÉRGICO

	Compresión isotérmica	Compresión por etapas
$E_i = (h_1 - h_{ref}) - T_u (s_1 - s_{ref})$	$\eta_{ex} = \frac{Z_L E_i}{w_T}$	$\eta_{ex} = \frac{Z_L E_i}{w_c}$
	$i = w_T - Z_L E_i$	$i = w_c - Z_L E_i$

RESULTADOS

En la Tabla 2, se muestran los resultados del análisis termodinámico del ciclo Linde. Se observa que se requiere menor trabajo suministrado para una compresión isotérmica, en comparación con una compresión de tres etapas. Específicamente, el ciclo Linde con compresión isotérmica requiere 6,303.01 kJ; mientras que, en el caso de tres etapas de compresión, el trabajo aumenta en un 38.49% (10,247.76 kJ). Este incremento en el trabajo afecta directamente la irreversibilidad del proceso y del ciclo en general, dado que la compresión es la que mayor contribuye a las irreversibilidades del sistema. Para el arreglo con compresión isotérmica, la irreversibilidad generada es de 3,725.64 kJ, y en el caso de tres etapas de compresión, esta irreversibilidad aumenta 27.05%, llegando a generar una irreversibilidad de 5,107.26 kJ.

Tabla 2. Trabajo específico, eficiencia exérgica e irreversibilidad para ambos ciclos.

Arreglo	Z_L (kg _{liq} /kg _{gase})	m_{hase} (kg _{gase})	w_c (kJ)	η_{ex} (-)	i (kJ/kg)
Isotérmico	0.0706	14.14	6303.01	0.19	3725.64
3 etapas			10247.76	0.11	5107.26

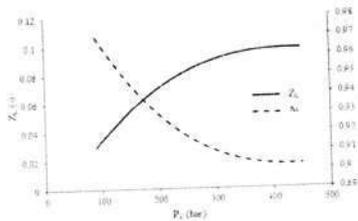


Figura 5. Fracción del aire licuado y calidad del estado 4, en función de la presión del estado 2, para la compresión isotérmica.

La Figura 6 muestra el comportamiento de la fracción de aire licuado y la calidad del vapor húmedo en el estado 4, en función de la presión del estado 2 del ciclo Linde con tres etapas de compresión. Al incrementar esta presión de 200 bar a 343 bar, la fracción de gas licuado aumenta en un 33.8%, mientras que, la calidad del vapor en el estado 4 disminuye en un 2.57%. Estos cambios se deben a que, al elevar la presión en el estado 2, disminuyen las entalpías en los estados 2 y 7, mientras que la entalpía en el estado 5 permanece constante. Como la fracción de gas licuado depende de las entalpías de los estados 2, 5 y 7, esta disminución favorece a una mayor licuefacción.

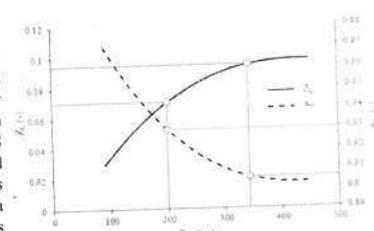


Figura 6. Fracción del aire licuado y la calidad del estado 4 en función de la presión del estado 2 para el ciclo con tres etapas de compresión.

^a Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco No. 186, Colonia Leyes de Reforma 1ª Sección, 09310, Iztapalapa, CDMX, México.
^b Departamento de Procesos y Tecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Santa Fe 05348, Cuajimalpa, Ciudad de México, México.
^c División de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica e Industrial, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Av. Tecnológico esq. Hank González, Col. Valle de Anáhuac, 55210, Ecatepec Estado de México, México.

cb2183013267@telcel.com.mx

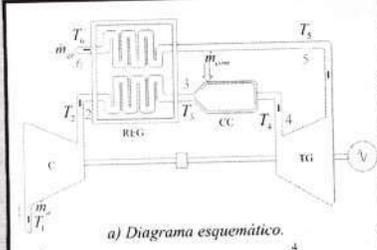
RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis energético de una turbina de gas regenerativa (TGR), en donde se evalúa el efecto de la humedad del aire sobre su desempeño. El estudio considera variaciones en la humedad relativa, relación de presiones del compresor, temperatura de entrada a la turbina y ambiente. La TGR genera una potencia de 4.6 MW, con una relación de presiones del compresor de 9.9 y una temperatura de entrada a la turbina de gas de 1,000 °C. Se analizan parámetros como la eficiencia térmica, trabajo motor, calor recuperado y exceso de aire para la combustión. Los resultados muestran que la mayor eficiencia térmica, el mayor trabajo motor y el calor recuperado son mayores a humedades relativas más altas.

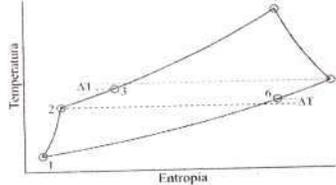
INTRODUCCIÓN

Las turbinas de gas son máquinas térmicas que transforman la energía de los gases de combustión en energía mecánica, que luego se convierte en electricidad mediante un generador. Su desempeño se ve afectado por factores ambientales como la humedad del aire de admisión, que es una mezcla de aire seco y vapor de agua. La humedad relativa relaciona la presión parcial del vapor con la presión de saturación a la temperatura del bulbo seco y la humedad específica, indica la proporción de vapor respecto al aire seco [1]. Existen diversos autores que han realizado análisis similares, en los que se estudia el efecto de la humedad en el desempeño de una turbina de gas: Onoroh F. y col. simularon el efecto de humedades relativas del 10% al 80%, encontrando que un aumento del 41.7% reduce el flujo de combustible en 0.49% [2]; Sammour A. y col. analizaron humedades relativas entre 10% y 90%, observando una mejora del 1.6% en la eficiencia térmica [3]. El objetivo de este trabajo analiza el comportamiento energético de una TGR enfocándose en cómo la humedad influye en variables como el trabajo motor, la eficiencia térmica, el calor recuperado, flujo de combustible y exceso de aire.

METODOLOGÍA



a) Diagrama esquemático.



b) Diagrama temperatura entropía.

Figura 1. Diagramas de la TGR.

Tabla 1. Condiciones de operación de la TGR.

\dot{W} (MW)	P_1 (bar)	T_1 (°C)	π_C (-)	TET (°C)	η_{ISC} (%)	η_{ST} (%)	η_{REG} (%)
4.6	1.01325	15	9.9	1,000	88	90	80

Combustible → Se define el combustible a utilizar

Tabla 2. Composición del gas natural.

	CoHno	[%]
Metano	CH ₄	96.87
Etano	C ₂ H ₆	2.85
Composición extendida	C ₃ H ₈	0.24
Butano	C ₄ H ₁₀	0.03
Iso-Butano	i-C ₄ H ₁₀	0.01
Composición compacta	Total: Gas Natural	C _{1.0345} H _{4.069}

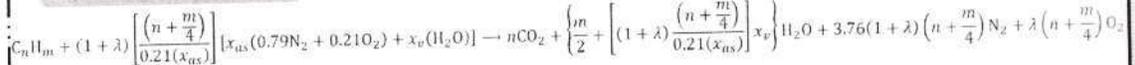
Humedad Se establecen las condiciones de humedad relativa para determinar la humedad específica, la fracción de vapor y del aire seco presente en el aire.

Humedad específica →
$$\omega = 0.622 \left(\frac{\phi P_{sat@T_{bs}}}{P_v - \phi P_{sat@T_{bs}}} \right)$$

Fracción del vapor →
$$x_v = \phi \frac{P_{sat@T_{bs}}}{P_a}$$

Fracción del aire seco →
$$x_{as} = 1 - x_v$$

Combustión con exceso de aire



Se determina el exceso de aire, λ , para una combustión completa.

La relación combustible-aire (rca).

$$rca = \frac{PM_{com}}{4.76 \left(n + \frac{m}{4} \right) (1 + \lambda) PM_a}$$

Parámetros de desempeño

Trabajo de compresión (kJ/kg)

$$w_c = c_{p_a}(T_2 - T_1) + \omega(h_{v2} - h_{v1})$$

Calor recuperado (kJ/kg)

$$q_{recu} = c_{p_a}(T_3 - T_2) + \omega(h_{v3} - h_{v2})$$

Calor suministrado (kJ/kg)

$$q_{sum} = c_{p_{g_e}}(1 + rca)T_4 - c_{p_a}T_3 + \omega(h_{v4} - h_{v3})$$

Trabajo de la turbina de gas (kJ/kg)

$$w_{TG} = c_{p_{g_e}}(1 + rca)(T_4 - T_5) + \omega(h_{v4} - h_{v5})$$

Flujo de combustible (kg_{comb}/s)

$$\dot{m}_{com} = \frac{\dot{m}_a q_{sum}}{PCI}$$

Eficiencia térmica (-)

$$\eta_{th} = \frac{w_m}{q_{sum}}$$

Trabajo motor (kJ/kg)

$$w_m = w_{TG} - w_c$$

RESULTADOS

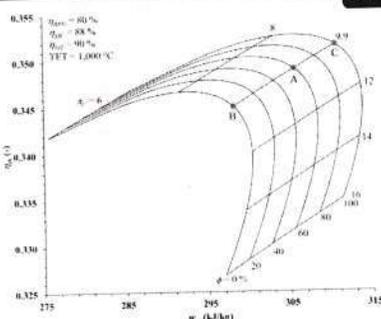


Figura 2. Mapa de operación: eficiencia térmica y trabajo motor a diferentes humedades relativas y relación de presiones.

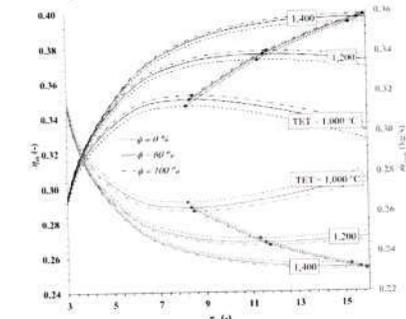


Figura 4. Eficiencia térmica y flujo de combustible en función de la relación de presiones y diferentes TET.

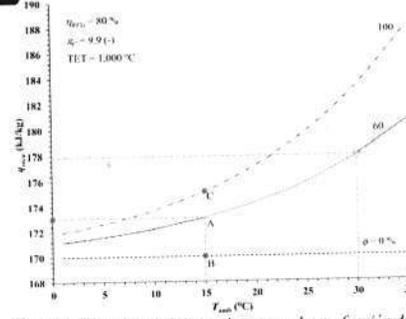


Figura 3. Calor recuperado en el regenerador en función de la temperatura ambiente.

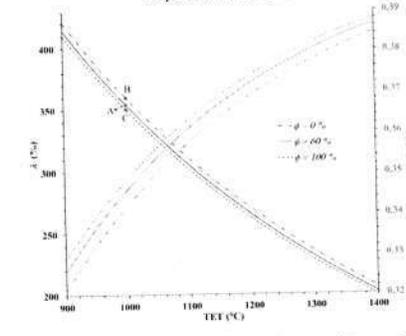


Figura 5. Exceso de aire y eficiencia térmica a diferentes TET.

CONCLUSIONES

Se concluye que, con una humedad relativa del 60%, la eficiencia es del 34.9% y el trabajo motor de 305.59 kJ/kg; sin embargo, se observa que al reducir la humedad relativa a 0% ambos parámetros disminuyen: la eficiencia decrece 1.15% y el trabajo motor 2.44%. En cambio, al incrementar la humedad al 100%, se obtiene un aumento del 1% en la eficiencia y del 1.62% en el trabajo motor. El calor recuperado en el regenerador no se ve afectado cuando se trabaja con aire seco. No obstante, con aire húmedo, el calor recuperado aumenta a medida que la temperatura ambiente se eleva. Con 60% de humedad relativa, el calor recuperado es de 173.05 kJ/kg, y al elevar la temperatura ambiente en 15 °C, este valor se incrementa en 2.78%. También se obtiene que, el flujo de combustible es 1% menor cuando se opera con la relación de presiones óptima en comparación con la de operación. Además, a mayor temperatura de entrada a la turbina, la eficiencia térmica mejora en todos los casos, y se requieren menores flujos de combustible al operar con mayor humedad relativa, debido al mayor calor específico del vapor comparado con el del aire seco. Finalmente, en relación con el exceso de aire, se determina que éste es mayor cuando se emplea aire seco, ya que al pasar a aire saturado este exceso de aire disminuye en 1.64%.

REFERENCIAS

[1] Kenneth, W. (2022). Termodinámica (5.a ed). McGraw Hill Education.
 [2] Onoroh, F., Ogbonnaya, M., & Onochie, U. (2020). Modeling and simulation of the effect of moisture content and ambient temperature on the performance of a gas turbine power plant in Ughelli, Nigeria. *Nigerian technology magazine. NIJOTECH*, 39(1), 182-188.
 [3] Sammour, A., Komarov, O., Lattief, A., Qasim, M., & Saleh, A. (2023). Influence of surrounding air temperature and humidity upon the performance of a gas turbine power plant. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 112(1), 22-37.



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE PROYECTO
DE TESIS

FO-TESE-DA-87
TIT03-ANEXO PM



DIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

Fecha: 1 DE SEPTIEMBRE DE 2023

Profesores: DR. WENCESLAO CUAUHTÉMOC BONILLA BLANCAS Y DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES

Con base en el Capítulo Quinto, Del Personal Académico, artículo 22, fracción II, del Reglamento de Posgrado de esta Casa de Estudios, y Capítulo Sexto, Del Ingreso y Permanencia de los Alumnos, artículo 27, del mismo Reglamento, han sido ustedes designados como DIRECTORES DE PROYECTO DE TESIS para la supervisión y orientación del

PROYECTO DE TESIS: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL BIOGÁS MEDIANTE UN BIOFILTRO DE LECHO ESCURRIDO CON CONTROL DE LÓGICA DIFUSA

Con número de folio: POSG-MPEER/DIMMI/2023/08

Que para obtener el grado de maestría sustentará:

Nombre del alumno:
CRUZ

Apellido paterno

FIGUEROA

Apellido materno

MIGUEL ANGEL

Nombres (s)

Matrícula: 202220806

Agradeceré a usted se sirva brindar el mayor apoyo al mencionado alumno, con el fin de hacer posible que éste cumpla con los objetivos perseguidos con dicha actividad.

Elaboró:

DR. AGUSTIN MORA ORTEGA
Coordinador de posgrado

Vo. Bo.:

DR. ÁNGEL MAZ
Jefe de División





GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

AVISO DE TERMINACIÓN DE PROYECTO DE
TESIS



FO-TESE-DA-89
TIT04-ANEXO PM

DIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

Folio: POSG-MPEER/DIMMI/2025/05
Fecha: 06 DE MAYO DE 2025

Después de las revisiones, observaciones y seguimiento de recomendaciones hechas al proyecto de tesis OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL BIOGÁS MEDIANTE UN BIOFILTRO DE LÉCHO ESCURRIDO CON CONTROL DE LÓGICA DIFUSA, que como requisito para obtener el grado de maestría presenta

CRUZ

Apellido paterno

FIGUEROA

Apellido materno

MIGUEL ANGEL

Nombres (s)

Matrícula: 202220800

Director de Proyecto Interno: DR. WENCESLAO CUAUHEMOC BONILLA BLANCAS y Externo: DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES, da por concluido su desarrollo para proceder a la impresión del trabajo correspondiente y la defensa pública del mismo.

Vo. Bo. COMITÉ TUTORIAL

DR. WENCESLAO CUAUHEMOC BONILLA BLANCAS

DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES

DR. MARTÍN SALZAR PEÑEYRA

MTR. GUSTAVO ALBERTO NUÑEZ ALVAREZ



Elaboró:

DR. WENCESLAO CUAUHEMOC BONILLA
DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES
Directores de Proyecto

Revisó:

DR. AGUSTÍN MORA ORTEGA
Coordinador de Posgrado

Vo. Bo.:

DR. ÁNGEL MAZZ
Jefe de División



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

DICTAMEN DE LIBERACIÓN DE PROYECTO
DE TESIS

FO-TESE-DA-90
TIT05-ANEXO PM



DIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

Fecha: 06 DE MAYO DE 2025

Datos generales

Nombre del alumno:
CRUZ

FIGUEROA
Apellido materno

MIGUEL ANGEL
Nombres (s)

Apellido paterno

Matrícula: 202220806

PROYECTO: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL BIOGÁS MEDIANTE UN BIOFILTRO DE LECHO ESCURRIDO CON CONTROL DE LÓGICA DIFUSA

DIRECTORES: DR. WENCESLAO CUAUHTÉMOC BONILLA BLANCAS Y DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES

Dictamen:
Con base en el registro No. POSG-MPEER/DIMMI/2023/08 correspondiente al periodo escolar 2023-2, asignado al proyecto de tesis OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL BIOGÁS MEDIANTE UN BIOFILTRO DE LECHO ESCURRIDO CON CONTROL DE LÓGICA DIFUSA y presentado por el alumno referido; y después de haber sido desarrolladas las actividades requeridas, el Comité Tutorial, conformado por los integrantes que firman al calce, ha determinado que SI (X) NO () han sido cubiertos en su totalidad los requisitos que permitan a esta División Académica liberar al alumno de los trámites académicos para tal efecto e iniciar el trámite de obtención de grado de maestría en la Unidad de Registro y Certificación de este Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Observaciones:

NINGUNA

Comité tutorial

DR. WENCESLAO CUAUHTÉMOC BONILLA BLANCAS

DR. GUILLERMO BENÍTEZ OLIVARES

DR. MARTÍN SALAZAR PEREYRA

MTRO. GUSTAVO ALBERTO NUNEZ ALVAREZ



Elaboró: DR. AGUSTÍN MORA ORTEGA Coordinador de Posgrado	Revisó y Visto Bieno: DR. ÁNGEL MAZZARIAS Jefe de División	Enterado: MTRO. JUAN CARLOS BARRÓN FLORES Director Académico
--	--	--



FOLIO 451

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC

Dirección de Apoyo y Desarrollo Académico
Unidad de Registro y Certificación

ACTA DE EXAMEN DE MAESTRÍA

En Ecatepec de Morelos, Estado de México, siendo las 14:10 horas del día Veintidós del mes de Mayo del año 2025, se reunió en Aula Sor Juana Inés de la Cruz del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, el jurado integrado por:

Presidente: Dr. Wenceslao Cuauhtémoc Bonilla Blancas
Secretario: Dr. Guillermo Benitez Olivares
Vocal: Mtro. Gustavo Alberto Nuñez Alvarez

E.I.C. Ing. Miguel Angel Cruz Figueroa
con clave CURP CUFM951125HDFRGG09 egresado de esta institución con número de matrícula 202220806

En cumplimiento a lo dispuesto por el Reglamento de Posgrado, el sustentante fue examinado por su trabajo de TESIS, con el tema: Optimización del proceso de eliminación de contaminantes en el bioqás mediante un biofiltro de lecho escurrido con control de lógica difusa. 1.24 hrs.

En virtud de lo anterior procedió a la defensa del tema presentado, lo que tuvo una duración de _____

El jurado después de haber deliberado y tomado en consideración los antecedentes académicos del sustentante, acordó aprobar al C. con el siguiente veredicto: Unanimidad

Una vez hecho esto el sustentante procedió a tomar la protesta de Ley, a través de la cual se comprometió a servir a la humanidad y a su patria como Maestro en Eficiencia Energética y Energías Renovables por el bien de la sociedad y el engrandecimiento de México.

Siendo las 15:34 horas del día en que se actúa, se levantó la presente acta, asentándose la misma en el Libro de Actas de Examen de Maestría, número 05 a fojas 417, por lo que una vez escrita, leída y aprobada, la presente fue firmada por los integrantes del jurado para constancia.

Dr. Wenceslao Cuauhtémoc Bonilla Blancas

PRESIDENTE

Dr. Guillermo Benitez Olivares

SECRETARIO

Mtro. Gustavo Alberto Nuñez Alvarez

VOCAL

Lcda. M. _____

JEFA DE LA UNIDAD DE REGISTRO Y CERTIFICACIÓN



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



ESTADO DE
MÉXICO
¡El poder de servir!



"2025. Bicentenario de la vida municipal en el Estado de México"

La Escuela Preparatoria Oficial No. 95

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

Al : Dr. Guillermo Benítez Olivares

Por participar en la difusión y divulgación del Plan y Programa de Estudios de la oferta educativa de la UAM-Iztapalapa a alumnos de tercer grado de nuestra institución.

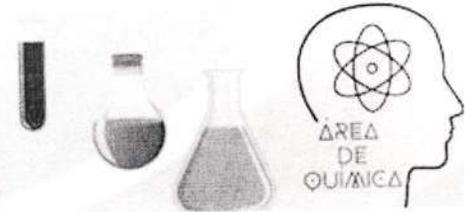


Dr. Carlos García Valencia
Director Escolar

"El Espíritu en cualquier lugar persiste"

Nezahualcóyotl, Méx., 29 de mayo 2025.





BIT 25002

Modelado de la digestión anaerobia: de la aplicación de modelos mecanísticos a las redes neuronales artificiales

Meza-Benítez Sandra Sheccid¹, Benítez-Olivares Guillermo², Rojas-Zamora Ulises³,
Hernández-Fydrych Vianka Celina^{1*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 420, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02128, México.

²Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1a Sección, Alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México, C.P. 09310, México.

³Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Biotecnología. Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1a Sección, Alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México, C.P. 09310, México.

*Autora para correspondencia: vchf@azc.uam.mx

ORCID : 0009-0008-2241-7022

Recibido:
28/abril/2025

Aceptado:
30/mayo/2025

Palabras clave:
Digestión anaerobia,
modelos matemáticos,
redes neuronales
artificiales

Keywords:
Anaerobic digestion,
mathematical models,
artificial neural networks

RESUMEN

La digestión anaerobia representa una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos. Para optimizar el proceso se han desarrollado diversos modelos; desde ecuaciones cinéticas simples hasta enfoques mecanísticos complejos. Sin embargo, su aplicación se ha visto limitada por diversos factores, como la demanda de una gran cantidad de datos, un alto grado de incertidumbre o la necesidad de integrar varios modelos para obtener un análisis global. Esto ha motivado la integración de herramientas basadas en inteligencia artificial, como las redes neuronales artificiales (ANNs), las cuales han demostrado una alta precisión en la predicción del comportamiento de sistemas anaerobios, optimizando variables como la producción de metano y la remoción de contaminantes. Por ello, la combinación de ANNs con modelos mecanísticos representa una alternativa prometedora para potencializar la eficiencia de los biodigestores con un enfoque sostenible.

ABSTRACT

Anaerobic digestion represents a sustainable alternative for wastewater and organic waste treatment. To optimize this process, various models have been developed, ranging from simple kinetic equations to complex mechanistic approaches. However, their application has been limited by several factors, including substantial data requirements, high uncertainty levels, and the need to integrate multiple models for comprehensive process analysis. These limitations have driven the incorporation of artificial intelligence (AI)-based tools, particularly artificial neural networks (ANNs), which have demonstrated high accuracy in predicting anaerobic system behavior while optimizing key parameters such as methane production and pollutant removal. Consequently, the integration of ANNs with mechanistic models presents a promising approach to enhance bioreactor efficiency within a sustainable framework.



Dirección de Investigación Científica, Básica y de Frontera

Ciudad de México, a 02 de junio de 2025

CONSTANCIA

Estimado(a) Dr(a). GUILLERMO BENITEZ OLIVARES

Presente

La SECIHTI agradece su participación en la revisión de la propuesta CBF-2025-I-3628 titulada: "Dinámica de los metabolitos volátiles y estables liberados durante el proceso de descomposición del estiércol (sistema bovinos-leche) para aumentar la materia orgánica del suelo y favorecer su manejo agrícola sustentable", presentada en el marco de la Convocatoria "Ciencia Básica y de Frontera 2025", modalidad Individual.

El valioso tiempo que usted gentilmente ha dedicado para revisar esta propuesta contribuirá a mejorar la selección de los proyectos que serán apoyados, con base en los estándares de calidad científica y/o tecnológica de los Programas de la SECIHTI.

La SECIHTI le hace un reconocimiento por el apoyo brindado y expresa su deseo de seguir contando con su apreciable aporte académico en las tareas sustantivas que se nos han confiado.

Atentamente

Dr Carlo Andrés Altamirano Allende
Director de Investigación Científica Básica y de Frontera

Clave única de constancia de revisión:

71f58097f0648ab62c8af014fc61c130a12095514a7123675b08215e4086d2ae





Casa abierta al tiempo

**UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA**

La Universidad Autónoma Metropolitana

otorga la presente constancia

a:

Guillermo Benítez Olivares

Por su participación como expositor en el
Foro UAM-IMP: Hacia un futuro energético nacional sostenible
con el cartel "Producción sostenible de biogás con residuos agropecuarios: impulso
energético para el desarrollo rural en México".
Evento realizado en las instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo el día 3 de
junio del año en curso, de 8:30 a las 14:00 horas.

Ciudad de México, junio de 2025.

**Casa Abierta al Tiempo
In Calli Ixcahuicopa**



Dr. José Antonio De los Reyes Heredia
Rector General

Producción sostenible de biogás con residuos agropecuarios: impulso energético para el desarrollo rural en México.

Araceli Turincio Estrada^a, Guillermo Benítez Olivares^a, Alejandro Torres Aldaco^a, Raúl Lugo-Leyte^a, Sergio Castro-Hernández^a, Helen D. Lugo-Méndez^b

^aDivisión de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1a Sección, Alcaldía Iztapalapa, CDMX, 09310, México.

^bDivisión de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana - Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Santa Fé Cuajimalpa, Alcaldía Cuajimalpa, CDMX, 05348, México.

Biogás; Digestión anaerobia; Residuos agropecuarios; Modelado matemático; Sostenibilidad energética; Dispersión axial; Aprovechamiento energético.

Descripción del grupo de investigación

El grupo de trabajo pertenece a las Divisiones de CBI y CNI de la UAM y está conformado por investigadores y estudiantes dedicados al estudio de tecnologías sostenibles para el aprovechamiento de residuos agropecuarios. Nuestra labor se centra en el desarrollo experimental y modelado matemático de procesos de digestión anaerobia, con énfasis en la producción de biogás. Combinamos enfoques teóricos y aplicados para diseñar sistemas eficientes y escalables, orientados al fortalecimiento del sector rural. El grupo promueve la vinculación académica e interinstitucional, así como la formación de recursos humanos comprometidos con la transición energética y la gestión sustentable de residuos en México.

Objetivos

Evaluar la producción de biogás y metano a partir de residuos agropecuarios bajo diferentes condiciones experimentales, y validar con modelos matemáticos predictivos. Se busca contribuir al diseño de sistemas eficientes de digestión anaerobia, escalables y adecuados para el aprovechamiento energético en comunidades rurales mexicanas.

Metodología

Se aplicó un método de promediado en tres escalas: microbiana, intermedia y macroscópica. Se formularon modelos de difusión y reacción usando ecuaciones diferenciales con condiciones de frontera constitutivas. Posteriormente, se incorporó un modelo macroscópico de dispersión axial en una zona representativa del biorreactor para describir la acumulación de biogás, considerando los efectos de difusión, convección y reacción.

Relación con los temas centrales del foro

Este trabajo se vincula directamente con el tema de metano y combustibles alternos, al promover la generación de biogás como fuente renovable a partir de residuos agropecuarios. Contribuye a la diversificación energética nacional y complementa otras tecnologías limpias

Esquema de escalamiento

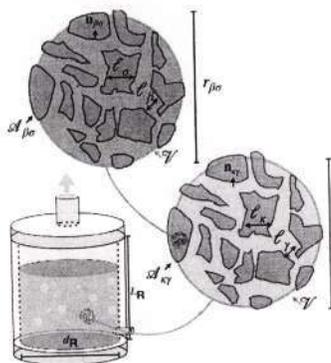


Figura 1. Diagrama de las diferentes escalas del sistema consideradas para el biorreactor mediante un enfoque de promediado.

Incidencia social

Este proyecto impacta positivamente en comunidades rurales al transformar residuos agropecuarios en energía limpia, mejorando la gestión ambiental y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. Promueve prácticas sostenibles, impulsa la autosuficiencia energética y fomenta el desarrollo económico local mediante el uso de tecnologías accesibles. Además, fortalece capacidades técnicas en el sector agrícola, contribuyendo a una transición energética incluyente, con beneficios directos en salud, empleo y calidad de vida para poblaciones marginadas o con infraestructura limitada.

Avances

Se evaluó la producción de biogás y metano a partir de residuos ganaderos y agrícolas bajo distintas condiciones de pH y concentración de sólidos. Los datos experimentales se ajustaron mediante modelos matemáticos que permiten estimar parámetros clave del proceso. Estos modelos, aplicados por primera vez a este tipo de residuos en México, ofrecen una herramienta predictiva para el diseño de sistemas eficientes. El estudio aporta una base sólida para el aprovechamiento energético de desechos agropecuarios, alineándose con los objetivos de sostenibilidad energética nacional y promoviendo soluciones tecnológicas viables para el sector rural.

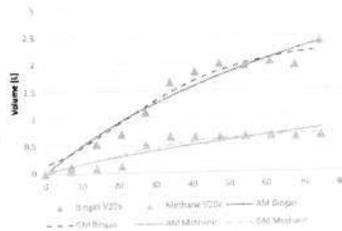


Figura 2. Comparación entre la ecuación macroscópica y la ecuación de Gompertz modificada con los datos experimentales para producir biogás y metano para el experimento con 20% de cantidad de estiércol agregado en forma seca con pH no controlado (V20e).

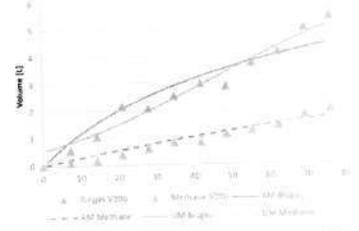


Figura 3. Comparación entre la ecuación macroscópica y la ecuación de Gompertz modificada con los datos experimentales para producir biogás y metano para el experimento con 20% de cantidad de estiércol agregado en forma seca con pH controlado (V20c).

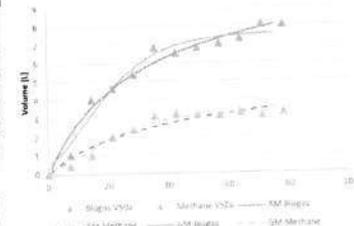


Figura 4. Comparación entre la ecuación macroscópica y la ecuación de Gompertz modificada con los datos experimentales para producir biogás y metano para el experimento con 50% de cantidad de estiércol agregado en forma seca con pH no controlado (V50e).

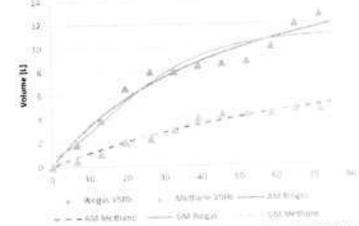


Figura 5. Comparación entre la ecuación macroscópica y la ecuación de Gompertz modificada con los datos experimentales para producir biogás y metano para el experimento con 50% de cantidad de estiércol agregado en forma seca con pH controlado (V50c).

Referencias

El proyecto promueve el aprovechamiento energético de residuos agropecuarios, reduciendo la contaminación y mejorando las condiciones sanitarias en comunidades rurales. Al generar biogás como fuente local de energía renovable, se fortalece la autosuficiencia energética y se disminuye la dependencia de combustibles fósiles. Además, impulsa el desarrollo de capacidades técnicas y fomenta prácticas sostenibles en el sector agrícola, contribuyendo a una transición energética con inclusión social y beneficios ambientales directos para la población.

Posibles colaboraciones

Centros de investigación en bioenergía, instituciones del sector agropecuario, organismos gubernamentales para el desarrollo rural, cooperativas agrícolas, así como empresas interesadas en tecnologías de digestión anaerobia y gestión de residuos. También se contempla vinculación con universidades para formación y transferencia tecnológica.

Datos de contacto

ORCID



Clarivate
Web of Science™





Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Iztapalapa

LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD
IZTAPALAPA, OTORGA LA PRESENTE CONSTANCIA

A: **Dr. Guillermo Benítez Olivares**

Por su participación como organizador del Foro "La UAM
en el desarrollo de tecnologías emergentes sustentables
para la transición energética".

Jueves 3 de Julio del 2025, Ciudad de México.

Dra. Claudia Rojas Serna
Jefa del Departamento de
Ingeniería de Procesos e
Hidráulica

**M. en C. Antonio de Jesús
Galán Alcalá**
Coordinador de Vinculación
Académica

Dr. Guadalupe Ramos Sanchez
Responsable Académico de
la Organización





Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Iztapalapa

Fecha 21/07/2025
Folio 18576
Página 1

Constancia de Cursos Impartidos

Profesor: 43912 BENITEZ OLIVARES GUILLERMO

No.	UEA	GRUPO	Insc.	NOMBRE	Cred.	H.T.	H.L	TRIM.
1	2100005	CA07	25	CURSOS COMPLEMENTARIOS	26	3.0	20.0	230
2	2122105	CI51	27	INGENIERIA DE COSTOS	9	3.0	3.0	230
3	2122111	CJ51	25	ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE	9	3.0	3.0	230
4	2906002	CO57	5	MODELADO MATEMATICO EN ING. EN ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE	9	3.0	3.0	230
5	2122095	CG01	21	TRANSFERENCIA DE MASA	9	3.0	3.0	24I
6	2122185	CL01	2	PROYECTO TERMINAL II APLICACIONES DE LOS FENOMENOS DE TRANSP	15	3.0	9.0	24I
7	2906021	CP57	1	ESCALAMIENTO EN FENOMENOS DE TRANSPORTE	9	3.0	3.0	24I
8	2122086	CE01	12	FUNDAMENTOS Y MODELOS DE OPTIMIZACION	9	3.0	3.0	24P
9	2122089	CE01	9	MECANICA DE FLUIDOS	9	3.0	3.0	24P
10	2122105	CI51	27	INGENIERIA DE COSTOS	9	3.0	3.0	240
11	2122111	CJ51	24	ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE	9	3.0	3.0	240
12	2122095	CG01	9	TRANSFERENCIA DE MASA	9	3.0	3.0	25I
13	2122110	CJ51	5	ANALISIS Y EVALUACION ENERGETICA DE PROCESOS	9	3.0	3.0	25I

La información que aparece en este documento es copia fiel de la contenida en los archivos que obran en poder de la Coordinación de Sistemas Escolares.

Atentamente
Casa abierta al tiempo



Lic. Martín Martínez Ortiz
Jefe de Sección de Registro Escolar





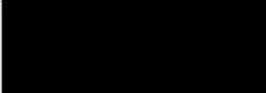
A QUIEN CORRESPONDA:

Por este medio informo a usted que el **Dr. Guillermo Benítez Olivares** con número económico **43912** y adscrito al Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM, Unidad Iztapalapa, ha realizado labor tutorial con el siguiente alumnado:

MATRÍCULA	NOMBRE COMPLETO	LICENCIATURA
2213007528	DANIEL GARCIA MONDRAGON	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2213007742	RICARDO ESPINOSA TELLEZ	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2213007779	FRANCISCO MOISES GARCIA HERNANDEZ	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2213007813	EMILIANO GARCIA SEGURA	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2213008534	YAHIR URIEL BARRAGAN AGUILERA	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2213008829	ROSA INES BELTRAN VAZQUEZ	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2213010338	ERICK DAMIAN ALEGRIA DELGADO	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2213041422	ABRAHAM CABRERA DURAN	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2213041940	JUAN MANUEL FLORES ALVAREZ	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2213042376	LUIS MANUEL ESPARZA JIMENEZ	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2243013301	JOSE TADEO HERNANDEZ CRUZ	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2243014013	DAMIAN ESCOBAR DOLORES	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2243050886	DIEGO ALFONSO ROMERO MARTINEZ	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2243051178	EDUARDO CASTAÑON MARTINEZ	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2243051463	EMILIANO GOMEZ GARCIA	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2243052166	MARIANA ALERIA BARRERA DEL CALLEJO	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2243052237	YAHIEL ISAAC ZOZOAGA CID	INGENIERÍA EN ENERGÍA
2243052326	EDUARDO ANTOAN REYNOSO CARRILLO	INGENIERÍA EN ENERGÍA

A petición de la persona interesada y para los fines que a esta convengan, se extiende la presente al día 8 del mes de agosto de 2025.

ATENTAMENTE
"CASA ABIERTA AL TIEMPO"


Dr. Humberto Laguna Galindo
Coordinador de Docencia y Atención al Alumnado
División de Ciencias Básicas e Ingeniería

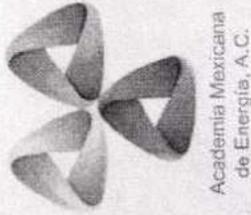
c.c.p. Coordinación Divisional de Docencia y Atención al Alumnado
c.c.p. Expediente Oficina de Tutorías y Apoyo a la Docencia

COORDINACIÓN DIVISIONAL DE DOCENCIA Y ATENCIÓN AL ALUMNADO - CBI

Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco No. 186, Col. Leyes de Reforma 1ª Sección, Iztapalapa, C.P. 09310
Ciudad de México. Oficina T-133, Tel.: 555804-4605/08/09, correo electrónico: cdcbi@xanum.uam.mx



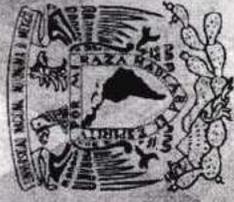
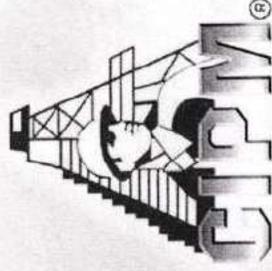
Academia
de Ingeniería
México



Academia Mexicana
de Energía, A.C.



Congreso Internacional de
Energía de la AMEXEN A.C.



La Academia Mexicana de Energía, A.C. otorga el presente

RECONOCIMIENTO

A:

G. Benítez Olivares, A. Torres Aldaco, H.D. Lygo Méndez, R. Lygo Leyte, S. Castro Hernández

por su trabajo presentado en modalidad cartel: "Proceso integrado sostenible para la coproducción de fitoesteroles, glicerol y biodiésel ultra-limpio a partir de aceites vegetales crudos mediante extracción supercrítica y destilación reactiva" (ID.300)
durante el 6° Congreso Internacional de Energía 2025

Ciudad de México, 22 al 26 de septiembre

Dr. José Antonio Colín Luna
Presidente de la Academia
Mexicana de Energía

Dra. Margarita González Brambila
Presidente del Comité Organizador
del 6° CIE2025/6thIEC 2025

La Academia Mexicana de Energía, A.C. otorga el presente

RECONOCIMIENTO

A :

S. Castro Hernández, J. M. Lecama Ibáñez, R. Lygo Leyte, H. D. Lygo Méndez, A. Torres Albaco,

G. Benítez Olivares

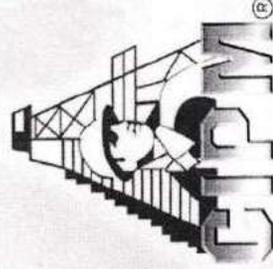
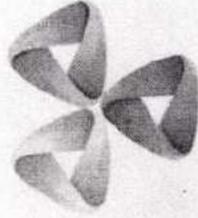
por su trabajo presentado en modalidad cartel: "Estudio exergético comparativo de un sistema de refrigeración simple y uno de doble cascada" (ID.305)

durante el 6° Congreso Internacional de Energía 2025

Ciudad de México, 22 al 26 de septiembre de 2025

Dr. José Antonio Colín Luna
Presidente de la Academia
Mexicana de Energía

Dra. Margarita González Brambila
Presidente del Comité Organizador
del 6° CIE2025/6thIEC 2025



La Academia Mexicana de Energía, A.C. otorga el presente

RECONOCIMIENTO

A:

A. Torres Aldaco, R. Lugo Leyte, S. Castro Hernández, G. Benítez Olivares, H. D. Lugo Méndez, L.

P. Hernández Corona

por su trabajo presentado en modalidad cartel: “Desalinización de agua de mar por cogeneración con turbina de gas” (ID.306)

durante el 6° Congreso Internacional de Energía 2025

Ciudad de México, 22 al 26 de septiembre

Dr. José Antonio Colín Luna
Presidente de la Academia
Mexicana de Energía

Dra. Małgarita González Brambila
Presidente del Comité Organizador
del 6° CIE2025/6thIEC 2025



Estudio exergoeconómico de un sistema de refrigeración simple

**Castro-Hernández, Sergio¹, Salazar-Pereyra, Martín¹,
Lugo-Leyte, Raúl², Torres-Aldaco, Alejandro²,
Benítez-Olivares, Guillermo², Lugo-Méndez, Helen Denise³**

¹Tecnológico Nacional de México/TES de Ecatepec, División de Ingeniería Mecatrónica e Industrial, Av. Tecnológico S/N, Col. Valle de Anáhuac, Ecatepec de Morelos, México, C.P. 55210.

²Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco No. 186, Col. Leyes de Reforma 1era Sección, Ciudad de México, CDMX, México, C.P. 09310

³Universidad Autónoma Metropolitana, Cuajimalpa, Departamento de Procesos y Tecnología, Av. Vasco de Quiroga No. 4871, Colonia Santa Fe, Ciudad de México, CDMX, México, C.P. 05348.

*sergiohdz015@gmail.com
Ingeniería Química

Resumen

El presente trabajo desarrolla un análisis energético, exergético y exergoeconómico de un ciclo de refrigeración simple con R-134a. Se determinaron las propiedades termodinámicas de cada estado, así como los balances de energía y exergía, obteniéndose un coeficiente de desempeño (COP) de 1.557 y una eficiencia exergética del 18.24 %. Los resultados evidencian que el compresor es el componente con mayor contribución a las irreversibilidades del ciclo, mientras que la válvula de expansión presenta la mayor participación en la generación de residuo exergético. Asimismo, se calcularon los costos exergéticos del recurso, producto y residuo de cada elemento, verificando el cumplimiento del balance de costos exergéticos. En conjunto, estos hallazgos resaltan la utilidad de la metodología exergoeconómica para identificar los principales focos de ineficiencia y establecer criterios de mejora en sistemas de refrigeración por compresión de vapor.

Palabras clave: *Refrigeración por compresión de vapor; Análisis exergoeconómico; R134a.*

Abstract

This work presents an energy, exergy, and exergoeconomic analysis of a simple vapor-compression refrigeration cycle using R-134a. The thermodynamic properties at each state, as well as the energy and exergy balances, were determined, yielding a coefficient of performance (COP) of 1.557 and an exergy efficiency of 18.24%. The results show that the compressor is the component with the highest contribution to cycle irreversibilities, while the expansion valve exhibits the greatest share in the generation of exergy waste. In addition, the exergy costs of the resource, product, and waste associated with each component were calculated, confirming compliance with the exergy cost balance. Overall, these findings highlight the relevance of the exergoeconomic methodology to identify the main sources of inefficiency and establish improvement criteria in vapor-compression refrigeration systems.

Palabras clave: *Vapor-compression refrigeration; Exergoeconomic analysis; R134a.*

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO EN TUBOS RECEPTORES COMPUESTOS PARA PLANTAS SOLARES HÍBRIDAS

Guillermo Benítez Olivares^a, Alejandro Torres Aldaco^a, Raúl Lugo-Leyte^a, Sergio Castro-Hernández^a, Helen D. Lugo-Méndez^b

^a División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa, Av. Ferrocarril San Rafael Atlixco, Núm. 186, Col. Leyes de Reforma 1a Sección, Alcaldía Iztapalapa, CDMX, 09310, México.

^b División de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana - Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Santa Fé Cuajimalpa, Alcaldía Cuajimalpa, CDMX, 05348, México.

Resumen

Este estudio realiza una simulación numérica del transporte de calor en un tubo receptor compuesto de cobre y alúmina, empleado en plantas solares híbridas con generación directa de vapor. Las inestabilidades térmicas y mecánicas en estos sistemas dependen de equilibrar las proporciones de ambos materiales. Utilizando ecuaciones de transporte de calor, se modelaron los cambios de temperatura en la pared compuesta, analizando diferentes proporciones de cobre y alúmina. Los resultados muestran que el cobre, por su alta conductividad, mejora la transferencia de calor, mientras que la alúmina regula las fluctuaciones térmicas. En la región de evaporación, se detectaron puntos críticos de inestabilidad, destacando la necesidad de diseños optimizados que aseguren la integridad estructural y favorezcan la eficiencia operativa.

Introducción

Las plantas solares híbridas desempeñan un papel fundamental en la transición hacia sistemas energéticos sostenibles al reducir la dependencia de combustibles fósiles y minimizar el impacto ambiental asociado a la generación de energía. Estas plantas combinan tecnologías solares con otras fuentes de energía renovable o sistemas de almacenamiento térmico para garantizar una producción eléctrica continua y eficiente. Un componente clave en estas instalaciones es el tubo receptor, donde la radiación solar concentrada es absorbida y transferida al fluido de trabajo, permitiendo la conversión de energía térmica en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica. El diseño de los tubos receptores es un aspecto crucial para optimizar el rendimiento de las plantas termosolares. En los sistemas de Generación Directa de Vapor (GDV), la estabilidad del flujo bifásico dentro de los tubos representa un desafío técnico importante, ya que las fluctuaciones de presión y temperatura pueden afectar la eficiencia del sistema. En este contexto, el uso de materiales compuestos, como aleaciones de cobre y alumina, ha surgido como una solución prometedora para mejorar la transferencia de calor y la estabilidad operativa de los tubos receptores [1]. Este trabajo presenta un análisis numérico del comportamiento térmico en tubos receptores compuestos para plantas solares híbridas. Mediante simulaciones computacionales, se evalúa el efecto de la relación Cu-Al₂O₃ en la distribución de temperatura, la eficiencia de absorción de energía y la estabilidad del flujo térmico dentro del sistema.

El diseño de tubos receptores eficientes es necesario para optimizar la generación de energía en plantas solares híbridas. Estos tubos operan bajo condiciones extremas de temperatura y presión, por lo que su composición material debe equilibrar la transferencia de calor y la estabilidad estructural. En este estudio, se modelaron las dinámicas de temperatura en la pared compuesta del tubo receptor, utilizando ecuaciones de transporte de calor. El objetivo es analizar los efectos del cobre y la alúmina en la distribución de temperatura y su relación con posibles inestabilidades térmicas y mecánicas [2].

Metodología

Se implementaron ecuaciones de transporte de calor en un modelo bidimensional para simular las variaciones de temperatura en la pared del tubo receptor. Para determinar el transporte de calor en la pared

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

compuesta, se separó el estudio en los casos de alúmina (α) y cobre (κ), considerando el esquema mostrado en la Figura 1. Las ecuaciones que describen el sistema son las siguientes ($i = \alpha, \kappa$):

$$\frac{1}{\alpha_i} \frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_i}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial T_i}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T_i}{\partial z} \right)$$

$$\text{en } t = 0 \quad T_i = \frac{T_1 + T_{10}}{2}; \quad -k_i \frac{\partial T_i}{\partial z} = 0, z = 0, L$$

$$-k_\kappa \frac{\partial T_\kappa}{\partial r} = h_{cf}(T_f - T_\kappa), \theta \in (0, 2\pi); \quad -k_\kappa \frac{\partial T_\kappa}{\partial r} = h_{cf}(T_{sat} - T_\kappa), \theta \in (0, \theta_\ell)$$

$$-k_\kappa \frac{\partial T_\kappa}{\partial r} = h_{cg}(T_{sat} - T_\kappa), \theta \in (\theta_\ell, 2\pi); \quad -k_\kappa \frac{\partial T_\kappa}{\partial r} = h_{cg}(T_g - T_\kappa), \theta \in (0, 2\pi)$$

$$-k_\alpha \frac{\partial T_\alpha}{\partial r} = G_{bT}(z), r = R_o, \theta \in (0, \pi); \quad -k_\alpha \frac{\partial T_\alpha}{\partial r} = R_C G_{bT}(z), r = R_o, \theta \in (\pi, 2\pi);$$

Donde $G_{bT}(z)$ denota la irradiancia solar y R_C es la razón del área de colección del tubo receptor respecto a la parábola concentradora. Las condiciones de frontera en la entrada y salida del sistema se especifican como aislamiento térmico. Para la condición de frontera entre alúmina y cobre, se considera la continuidad del calor, dado que la disipación térmica ocurre por contacto directo. Aunque ambos materiales son buenos conductores, existe cierta resistencia a la transferencia de calor en la interfaz debido a imperfecciones, rugosidad superficial y la presencia de espacios microscópicos de aire [3]. Donde h_{cf} y h_{cg} son los coeficientes de transferencia de calor por convección para las fases de agua líquida y vapor, respectivamente; y T_f , T_{sat} y T_g representan las temperaturas del agua en las regiones de precalentamiento, evaporación y sobrecalentamiento, respectivamente; θ_ℓ es el ángulo de elevación del líquido en la región de evaporación.

Esta resistencia se cuantifica generalmente como la resistencia térmica de contacto. Además, el cobre y la alúmina tienen diferentes coeficientes de expansión térmica, lo que puede generar cambios dimensionales al ser calentados o enfriados. Estas diferencias de expansión pueden inducir esfuerzos en la interfaz, lo que puede resultar en problemas mecánicos si no se consideran en el diseño [3]. En este estudio, las contribuciones de esfuerzos en la interfaz, así como las de radiación y convección debido a su espesor, fueron despreciadas. Esto se fundamenta en la ley de conducción de calor de Fourier, donde la tasa de transferencia de calor por unidad de área es proporcional al gradiente de temperatura entre dos materiales distintos. En el caso del cobre y la alúmina, el flujo de calor a través de la interfaz es continuo, lo que garantiza una transferencia térmica constante. Por lo tanto, en el diseño del sistema se consideraron características promedio de ambos materiales para lograr una transferencia de calor eficiente. Las propiedades térmicas en la interfaz Cu-Al₂O₃ (o interfaz $\kappa - \alpha$) se estimaron a partir del promedio aritmético de las propiedades de cada material corregido.

$$\psi_{\kappa-\alpha} = \frac{\psi_\kappa - \psi_\alpha}{2} + \frac{\omega_\kappa \psi_\kappa \omega_\alpha \psi_\alpha}{\omega_\kappa \psi_\kappa + \omega_\alpha \psi_\alpha}$$

Donde ψ representa las propiedades térmicas k , Cp y ρ en cada caso; y ω_κ y ω_α son las fracciones de material de cobre y alúmina, respectivamente. Para la región de cobre (κ), se establecieron tres regiones de flujo durante la generación de vapor: precalentamiento ($0 \leq z \leq L_f$), evaporación ($L_f < z \leq L_{fg}$) y sobrecalentamiento ($L_{fg} < z \leq L_{loop}$). Posteriormente, se estableció una ecuación diferencial y condiciones de frontera considerando el aislamiento térmico en la entrada y salida del sistema. Para una descripción detallada de la metodología numérica utilizada en el análisis de transferencia de calor en la

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

pared compuesta del receptor, se hace referencia a los datos donde el procedimiento se describe utilizando el software COMSOL Multiphysics en su versión 5.2.

Resultados

La composición del tubo receptor analizada en este estudio consiste en una distribución equitativa de cobre (50%) y alúmina (50%), evaluada en dos regiones principales: precalentamiento y evaporación. Las simulaciones se llevaron a cabo en intervalos de tiempo $t = 3, 6, 9, 12$ y 15 minutos, analizando la evolución de la temperatura máxima y su distribución a lo largo de la longitud, z , del tubo receptor, que mide 150 m. Además, se identificaron puntos críticos de inestabilidad térmica mediante el análisis de los cambios de concavidad en los perfiles de temperatura, como se ilustra en la Figura 2.

El tubo presenta un diámetro externo de 70 mm y un diámetro interno de 65 mm. En la región de precalentamiento, el incremento máximo de temperatura (ΔT_{max}) aumentó linealmente con la longitud del tubo, con una pendiente de 0.656 °C/m para una concentración del 10% de alúmina y de 0.354 °C/m para una concentración del 50%. Este comportamiento sugiere que una mayor proporción de alúmina contribuye a una distribución más uniforme de la temperatura, debido a su capacidad para regular las variaciones térmicas. Además, las temperaturas alcanzaron un estado estacionario con diferencias de temperatura que tienden a cero entre pasos de tiempo consecutivos, lo que confirma la estabilidad térmica del sistema en esta etapa del proceso.

En la región de evaporación, la variabilidad térmica fue más pronunciada. Se observaron cambios abruptos en ΔT_{max} , alcanzando un pico global de 25.2 °C para una concentración del 50% de alúmina en $z = 729.3$ m. Entre los 744.6 y 760.1 m, se identificaron zonas con temperaturas significativamente más elevadas, acompañadas de incrementos de presión que oscilaron entre 0.128 y 1.94 bar. Estas áreas coincidieron con la aparición de inestabilidades mecánicas en la porción de cobre y de inestabilidades térmicas en la porción de alúmina, lo que pone de manifiesto la necesidad de un diseño optimizado para minimizar efectos adversos sobre la estructura del tubo.

Los resultados obtenidos respaldan la idea de que la combinación de cobre y alúmina es una solución viable para mejorar la eficiencia de transferencia térmica en los tubos receptores de plantas solares híbridas. Sin embargo, también subrayan la importancia de ajustar cuidadosamente las proporciones de estos materiales para equilibrar la conductividad térmica y la estabilidad estructural. La influencia de la alúmina en la reducción de gradientes térmicos contribuye a la disminución de tensiones mecánicas, pero una concentración excesiva puede generar efectos contraproducentes en términos de transferencia de calor. Por otro lado, la elevada conductividad térmica del cobre permite una respuesta térmica rápida, pero puede dar lugar a sobrecalentamientos localizados que comprometen la integridad del sistema.

Desde un punto de vista práctico, estos hallazgos sugieren que la optimización del diseño del tubo receptor debe considerar la integración de configuraciones compuestas con distribuciones variables de materiales en función de la región de operación. La aplicación de estos resultados en el dimensionamiento de futuras plantas solares híbridas permitiría mejorar su eficiencia energética, reducir costos operativos y extender la vida útil de los componentes clave. Además, la validación experimental de estos modelos numéricos en condiciones reales de operación representa un paso fundamental para el desarrollo de nuevas estrategias de diseño en sistemas de captación y transferencia de calor en aplicaciones industriales y energéticas avanzadas.

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

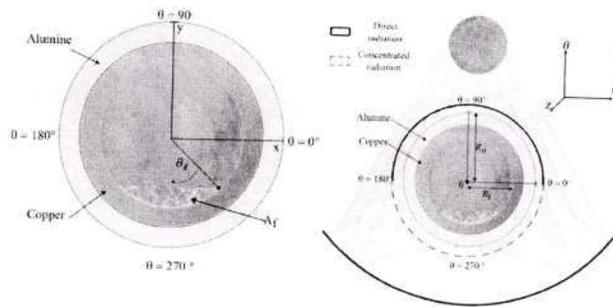


Figura 1. Esquema del tubo receptor y del ángulo de elevación en un patrón de flujo estratificado.

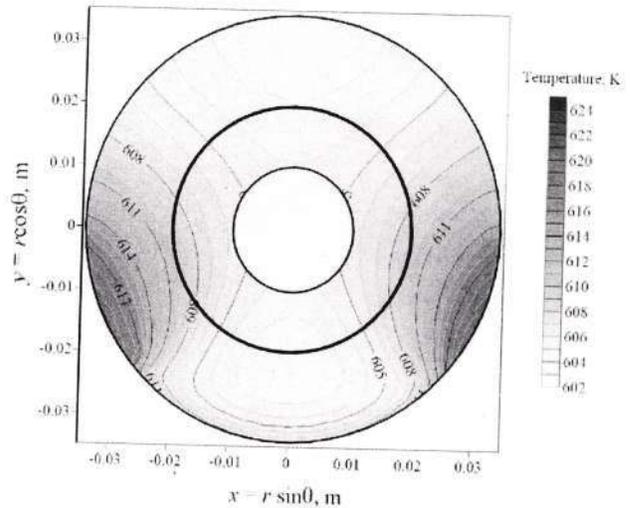


Figura 2. Diagrama de contorno en sección transversal para el análisis de temperatura de la pared del tubo receptor con 40% de cobre y 60% de alumina.

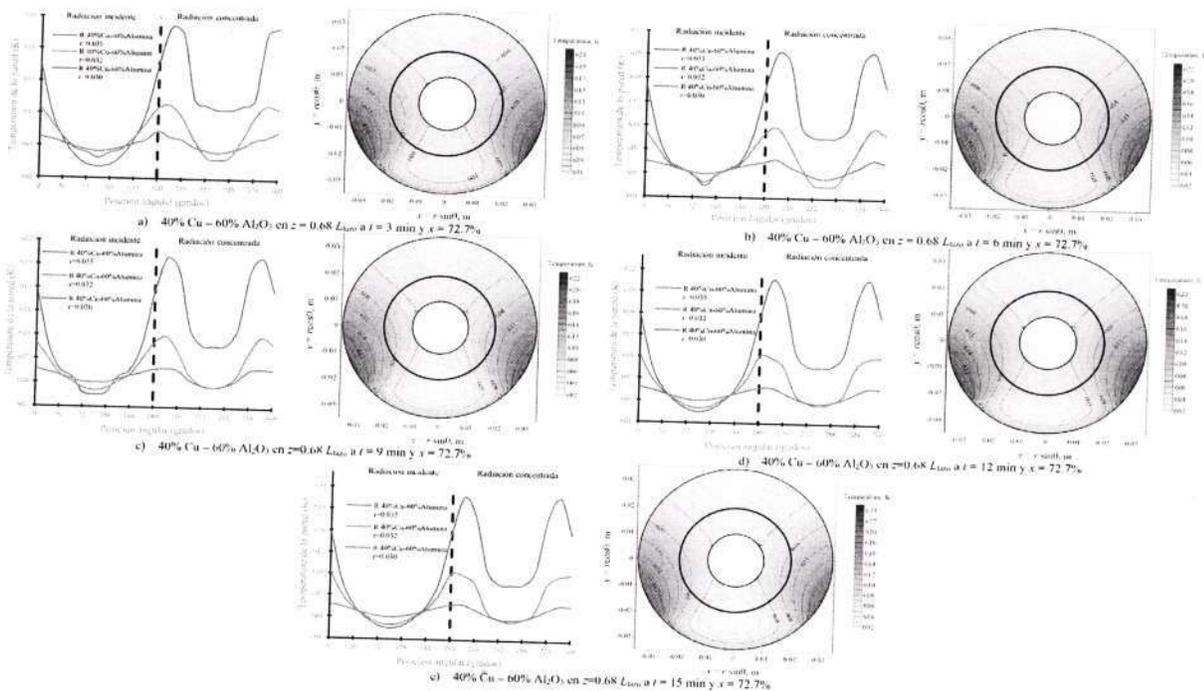


Figura 3. Perfiles de temperatura en la pared del tubo receptor compuesto por 40% Cu y 60% Al_2O_3 en $z = 0.68$ y $x = 72.7\%$: a) $t = 3$ min, b) $t = 6$ min, c) $t = 9$ min, d) $t = 12$ min, e) $t = 15$ min

Conclusiones

Se concluye que la integración de materiales compuestos en los tubos receptores es necesaria para optimizar el desempeño de plantas solares térmicas híbridas. El cobre se destaca por su capacidad conductiva para favorecer la transferencia de calor, mientras que la alumina aporta estabilidad térmica y reduce el riesgo de deformaciones estructurales. También, las inestabilidades térmicas y mecánicas

XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ

observadas muestran la importancia de equilibrar las proporciones de ambos materiales en el diseño. Además, los resultados numéricos respaldan la aplicación de esta tecnología en condiciones operativas reales, contribuyendo al desarrollo de sistemas energéticos sostenibles. Este enfoque ofrece una solución viable para la generación de energía renovable en regiones con alta irradiación solar, como Mulegé, y puede ser escalable para su implementación en otros contextos industriales.

Desde una perspectiva económica, la optimización de los tubos receptores mediante materiales compuestos permite reducir costos operativos a largo plazo al mejorar la eficiencia térmica y disminuir los riesgos de fallas estructurales. La mayor conductividad del cobre permite una transferencia de calor más efectiva, reduciendo la necesidad de superficies de captación extensas y, por lo tanto, los costos de inversión inicial. Por otro lado, la alúmina minimiza el desgaste y prolonga la vida útil de los componentes, disminuyendo los costos de mantenimiento y reemplazo. Estos factores pueden hacer que las plantas solares híbridas sean más competitivas frente a otras tecnologías de generación de energía.

Para futuras investigaciones, se recomienda explorar estrategias de optimización en la proporción de cobre y alúmina en los tubos receptores para maximizar la eficiencia y estabilidad térmica. Además, sería relevante evaluar el desempeño de otros materiales avanzados con propiedades similares o superiores. Otra línea de investigación clave sería el análisis experimental de estos diseños en condiciones de operación reales para validar los modelos numéricos. Finalmente, la incorporación de sistemas de almacenamiento térmico podría ser estudiada para mejorar la estabilidad de generación eléctrica y reducir la dependencia de fuentes auxiliares de energía [4, 5].

Referencias

1. Wright, S.A.; Pickard, P.S.; Fuller, R.; Radcliff, R.F.; Vernon, M.E. "Supercritical CO₂ Brayton cycle power generation development program and initial test results". *ASME power conference 2009*, pp. 573–583
2. Stutz, B.; Le Pierres, N.; Kuznik, F.; Johannes, K.; Del Barrio, E.P.; Bedecarrats, J.P.; Gibout, S.; Marty, P.; Zalewski, L.; Soto, J. "Storage of thermal solar energy". *Comptes Rendus Physique* 2017, 18, 401–414
3. Cooper, D. R., & Allwood, J. M. (2014). The influence of deformation conditions in solid-state aluminium welding processes on the resulting weld strength. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(11), 2576-2592.
4. Wang, F.; Shuai, Y.; Yuan, Y.; Liu, B. "Effects of material selection on the thermal stresses of tube receiver under concentrated solar irradiation". *Materials & Design* 2012, 33, 284–291.
5. Rizvi, A.A.; Danish, S.N.; El-Leathy, A.; Al-Ansary, H.; Yang, D. "A review and classification of layouts and optimization techniques used in design of heliostat fields in solar central receiver systems". *Solar Energy* 2021, 218, 296–311.

Instrumento de Opinión del alumnado

Trimestre: 24O

Nombre del profesor: GUILLERMO BENITEZ OLIVARES

Clave UEA: 2122105 **UEA:** INGENIERIA DE COSTOS

Alumnos inscritos: 27 **Alumnos que realizaron encuesta:** 9 **Nivel:** Licenciatura

Organización de la UEA

1. La o el profesor presentó y entregó el programa de la UEA en la primera semana de clase o antes.

No 0

Si 9

2. El programa incluyó: objetivos, contenidos temáticos, estrategias de enseñanza aprendizaje, bibliografía, otros apoyos didácticos, formas de evaluación y cronograma de actividades.

Totalmente en desacuerdo 0

En desacuerdo 0

De acuerdo 1

Totalmente de acuerdo 8

No aplica 0

3. El programa incluyó actividades realizadas en modalidad sincrónica (tiempo real) y asincrónica (sin interacción simultánea).

Totalmente en desacuerdo 0

En desacuerdo 0

De acuerdo 2

Totalmente de acuerdo 7

No aplica 0

4. Se acordaron normas, criterios de convivencia armónica y respetuosa, así como mecanismos de comunicación en el grupo.

Totalmente en desacuerdo 0

En desacuerdo 0

De acuerdo 2

Totalmente de acuerdo 7

No aplica 0

Práctica docente

5. En general, las actividades se han realizado conforme a lo programado.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	2
Totalmente de acuerdo	7
No aplica	0

6. La o el profesor muestra conocimiento amplio sobre los temas del programa.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	1
Totalmente de acuerdo	8
No aplica	0

7. Se favorece la participación individual y colectiva para el desarrollo de los conocimientos.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	1
Totalmente de acuerdo	8
No aplica	0

8. Se favorece la participación individual y colectiva para el desarrollo de las habilidades (comunicación, uso de lenguaje, pensamiento crítico, resolución de problemas, trabajo en equipo).

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	2
Totalmente de acuerdo	7
No aplica	0

9. Se promueve tu aprendizaje autónomo con base en la implementación de actividades, recursos y apoyos didácticos.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	2
Totalmente de acuerdo	7
No aplica	0

10. Las actividades prácticas se han realizado conforme a las necesidades de la UEA y contribuyen al logro de los aprendizajes y experiencias.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	2
Totalmente de acuerdo	7
No aplica	0

11. Se resuelven las dudas con base en explicaciones comprensibles y fortalecen los aprendizajes sobre los contenidos abordados.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	2
Totalmente de acuerdo	7
No aplica	0

12. Se incentiva el desarrollo de prácticas de investigación para el fortalecimiento de los aprendizajes.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	2
Totalmente de acuerdo	7
No aplica	0

13. Se impulsa la aplicación práctica y/o analítica de los conocimientos adquiridos.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	2
Totalmente de acuerdo	7
No aplica	0

14. Se promueve un ambiente de respeto, confianza y colaboración.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	3
Totalmente de acuerdo	6
No aplica	0

15. En general, todas las actividades se han realizado con pleno respeto a los derechos universitarios, como son, entre otros, la igualdad, diversidad y pluralidad de la comunidad universitaria en general, y del alumnado del grupo en particular.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	1
Totalmente de acuerdo	8
No aplica	0

16. La o el profesor imparte asesorías cuando le son solicitadas.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	1
Totalmente de acuerdo	8
No aplica	0

17. Los criterios y formas de evaluación establecidas en el programa se han respetado.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	1
Totalmente de acuerdo	8
No aplica	0

18. Recibes retroalimentación de las modalidades de evaluación implementadas durante el curso.

Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	0
De acuerdo	1
Totalmente de acuerdo	7
No aplica	0

Autoevaluación

19. Me he presentado puntualmente a clases y he permanecido la duración total de las sesiones.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	3
Totalmente de acuerdo	6
No aplica	0

20. He participado en clase expresando dudas, aportando ejemplos, respondiendo preguntas y trabajando en equipo.

Totalmente en desacuerdo	0
--------------------------	---

En desacuerdo	0
De acuerdo	3
Totalmente de acuerdo	6
No aplica	0

21. He cumplido con los requisitos y actividades académicas establecidas en el programa.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	2
Totalmente de acuerdo	7
No aplica	0

22. Hasta el momento he logrado los aprendizajes esperados de acuerdo con los objetivos del programa.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5
No aplica	0

Evaluación global

23. Tomaría otro de los cursos que imparte la o el profesor.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	2
Totalmente de acuerdo	7
No aplica	0

24. El profesor mostró especial interés en el desarrollo de la UEA.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	2
Totalmente de acuerdo	5
No aplica	2

25. Con base en lo anterior, califica del 1 al 10 el desempeño del profesor en el trimestre: (donde 1 es nada satisfactorio y 10 es muy satisfactorio).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	1	0	3	5

26. Comentarios y sugerencias a tu profesor

Comentarios

Un buen profesor, muy dedicado a enseñar y mostrar un panorama más allá del salón de clases, enfocado en mejorar la calidad del alumnado. Muy recomendado.

Buen profesor, le interesa que comprendas los temas.

Buen profesor. Me gustaría que nos deje tomar foto a sus diapositivas y que los temas los explique con más ejemplos, haciéndolos más prácticos y sencillos y que se haga un poco de lado la parte matemática. Al principio dijo que íbamos a empezar programando desde cero y sólo vimos un ejercicio, después supone que ya sabes programar y nada más te da el valor de lo que "te tiene que dar". Pone empeño para que los temas queden claros a los estudiantes a pesar de que no sean del área de Ingeniería en Energía, pero se revuelve. No es claro con lo que hay que hacer a la hora de programar y agrega más información que también no es clara. Motiva a los estudiantes a seguir avanzando no sólo en la Universidad, también en nuestro desarrollo humano, eso es un aspecto que sin duda recordaré y tomo en cuenta. Comprensivo con los asuntos de los estudiantes.

Es un excelente maestro, sabe mucho y te ayuda siempre sin hacerte sentir menos.

Instrumento de Opinión del alumnado

Trimestre: 25I

Nombre del profesor: GUILLERMO BENITEZ OLIVARES

Clave UEA: 2122110 **UEA:** ANALISIS Y EVALUACION ENERGETICA DE PROCESOS

Alumnos inscritos: 5 **Alumnos que realizaron encuesta:** 2 **Nivel:** Licenciatura

Organización de la UEA

1. La o el profesor presentó y entregó el programa de la UEA en la primera semana de clase o antes.

No 0

Si 2

2. El programa incluyó: objetivos, contenidos temáticos, estrategias de enseñanza aprendizaje, bibliografía, otros apoyos didácticos, formas de evaluación y cronograma de actividades.

Totalmente en desacuerdo 0

En desacuerdo 0

De acuerdo 0

Totalmente de acuerdo 2

No aplica 0

3. El programa incluyó actividades realizadas en modalidad sincrónica (tiempo real) y asincrónica (sin interacción simultánea).

Totalmente en desacuerdo 0

En desacuerdo 0

De acuerdo 0

Totalmente de acuerdo 2

No aplica 0

4. Se acordaron normas, criterios de convivencia armónica y respetuosa, así como mecanismos de comunicación en el grupo.

Totalmente en desacuerdo 0

En desacuerdo 0

De acuerdo 0

Totalmente de acuerdo 2

No aplica 0

Práctica docente

5. En general, las actividades se han realizado conforme a lo programado.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

6. La o el profesor muestra conocimiento amplio sobre los temas del programa.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

7. Se favorece la participación individual y colectiva para el desarrollo de los conocimientos.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

8. Se favorece la participación individual y colectiva para el desarrollo de las habilidades (comunicación, uso de lenguaje, pensamiento crítico, resolución de problemas, trabajo en equipo).

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

9. Se promueve tu aprendizaje autónomo con base en la implementación de actividades, recursos y apoyos didácticos.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

10. Las actividades prácticas se han realizado conforme a las necesidades de la UEA y contribuyen al logro de los aprendizajes y experiencias.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

11. Se resuelven las dudas con base en explicaciones comprensibles y fortalecen los aprendizajes sobre los contenidos abordados.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

12. Se incentiva el desarrollo de prácticas de investigación para el fortalecimiento de los aprendizajes.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

13. Se impulsa la aplicación práctica y/o analítica de los conocimientos adquiridos.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

14. Se promueve un ambiente de respeto, confianza y colaboración.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

15. En general, todas las actividades se han realizado con pleno respeto a los derechos universitarios, como son, entre otros, la igualdad, diversidad y pluralidad de la comunidad universitaria en general, y del alumnado del grupo en particular.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

16. La o el profesor imparte asesorías cuando le son solicitadas.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

17. Los criterios y formas de evaluación establecidas en el programa se han respetado.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

18. Recibes retroalimentación de las modalidades de evaluación implementadas durante el curso.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

Autoevaluación

19. Me he presentado puntualmente a clases y he permanecido la duración total de las sesiones.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

20. He participado en clase expresando dudas, aportando ejemplos, respondiendo preguntas y trabajando en equipo.

Totalmente en desacuerdo	0
--------------------------	---

En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

21. He cumplido con los requisitos y actividades académicas establecidas en el programa.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

22. Hasta el momento he logrado los aprendizajes esperados de acuerdo con los objetivos del programa.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

Evaluación global

23. Tomaría otro de los cursos que imparte la o el profesor.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	2
No aplica	0

24. El profesor mostró especial interés en el desarrollo de la UEA.

Totalmente en desacuerdo	0
En desacuerdo	0
De acuerdo	0
Totalmente de acuerdo	1
No aplica	1

25. Con base en lo anterior, califica del 1 al 10 el desempeño del profesor en el trimestre: (donde 1 es nada satisfactorio y 10 es muy satisfactorio).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

26. Comentarios y sugerencias a tu profesor

Comentarios

Es un excelente profesor , habla con mucha facilidad por lo que es fácil entender, el tener actividades relacionada con programación te ayudan mucho y aplicas el conocimiento aplicado a las tecnologías existentes

Excelente docente y persona, sin duda volvería a tomar más cursos con el.
