

Artículos

Instituto Tecnológico de Zacatepec

A continuación, se muestra la tabla-resumen de los artículos de los integrantes de la LGAC de Modelado y simulación de procesos:

PROFESOR	ARTÍCULO
Minerva Guadalupe Vargas Vega Omar Christian Benítez Centeno	<p>“Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de los principales parámetros de funcionamiento de un panel solar”</p> <p>Autor: J. Efraín Ruiz Ramírez, O. Sarmiento Martínez, M. G. Vargas Vega, Omar C. Benítez Centeno, A.J. Martínez Mata.</p> <p>Revista: Nouisz, Vol. 61 (2015), ISSN: 1405-9967, p.392</p>
Minerva Guadalupe Vargas Vega Omar Christian Benítez Centeno	<p>“Thermal conductivity measurement equipment for heat insulating materials”</p> <p>Autor: Omar Christian Benítez Centeno, Minerva Vargas, Octavio Cazarez-Candia, José Campos Álvarez, Jorgeli Riquelme Arizmendi, José Efraín Ruíz Ramírez</p> <p>Revista: SOMI XXXII Congreso de Instrumentación. 2017 ISSN 2395-8499.</p>
Minerva Guadalupe Vargas Vega Omar Christian Benítez Centeno	<p>¿Pueden las habilidades de investigación influir en la acreditación de una carrera de ingeniería?</p> <p>Autor: Omar C. Benitez Centeno, M. G. Vargas Vega J. Efraín Ruiz Ramírez,.</p> <p>Revista: Anfei Digital. Núm. 3 (2015), pp. 967-976. ISBN: 2007-8889.</p>
Omar Christian Benítez Centeno	<p>Simulación de la combustión in-situ en medios porosos considerando la expansión térmica de los fluidos y la roca</p> <p>Autor: Diego E. Martínez Lagunas, Octavio Cázarez Candia, Omar C. Benitez Centeno.</p> <p>Revista: Nouisz, Vol. 61 (2015), ISSN: 1405-9967, p.470-481</p>

Omar Christian Benítez Centeno	Simulación de la combustión in-situ en medios porosos carbonatados considerando la generación de CO ₂ Autor: David Montes Barrios, Martínez Lagunas, Octavio Cázarez Candia, Omar C. Benítez Centeno. Revista: Nouisitz, Vol. 61 (2015), ISSN: 1405-9967, p.453-469
Omar Christian Benítez Centeno	Simulación de la combustión in-situ en medios porosos considerando la expansión térmica de los fluidos y la roca Autor: Ricardo Díaz de León, Octavio Cázarez Candia, Omar C. Benítez Centeno. Revista: Nouisitz, Vol. 61 (2015), ISSN: 1405-9967, p.411-421
Rosember Ovando Castelar	"Determinación de pérdidas de calor en la red de transporte de vapor del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC, con base en el estado físico del aislamiento térmico de vaporductos"

	<p>Autor: R. Ovando Castelar, A. García Gutiérrez, J. I. Martínez Estrella, I. Canchola Félix, P. Jacobo Galván, C. Miranda y O. Mora Pérez</p> <p>Revista: Geotermia, Revista Mexicana de Geonegía, Vol. 24, No. 2. Julio-Diciembre de 2011. ISSN 0186-5897</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Metodología para el cálculo de pérdidas de calor en accesorios de la red de vaporductos del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC"</p> <p>Autor: A. García Gutiérrez, R. Ovando Castelar, J. I. Martínez Estrella, I. Canchola Félix, C. Miranda Herrera, P. Jacobo Galván y O. Mora Pérez</p> <p>Revista: Geotermia, Revista Mexicana de Geonegía, Vol. 25, No. 1. Enero-Junio de 2012. ISSN 0186-5897.</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Estimation of steam pipeline network heat losses at the Cerro Prieto Geothermal Field based on pipeline thermal insulation conditions"</p> <p>Autor: Ovando-Castelar, Rosember; Martinez-Estrella, Juan I.; Garcia-Gutierrez, Alfonso; Canchola-Felix, Ismael; Miranda-Herrera, Carlos A.; Jacobo-Galvan, Vicente P.</p> <p>Revista: GRC Transactions, Vol. 36 (2012). pag. 1111-1118. ISSN: 0193-5933. ISBN: 978-1-62276-434-1</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Improved Energy Utilization in the Cerro Prieto Geothermal Field Fluid Transportation Network"</p> <p>Autor: Garcia-Gutierrez, Alfonso; Martinez-Estrella, Juan I.; Ovando-Castelar, Rosember; Canchola-Felix, Ismael; Mora-Perez, Othon; Gutierrez-Espericueta, Sergio A.</p> <p>Revista: GRC Transactions, Vol. 36 (2012), pag. 1061-1066. ISSN: 0193-5933. ISBN: 978-1-62276-434-1.</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Energy Recovery Using Turboexpanders in Production Wells and Gathering Systems With High Pressures"</p> <p>Autor: Garcia-Gutiérrez, A., Martinez-Estrella, J. I., Ovando-Castelar, R., et al</p> <p>Revista: GRC Transactions, Vol. 37 (2013), pag. 703-708. ISSN: 0193-5933. ISBN: 978-1-62993-285-9.</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Thermal Performance of the Los Humeros Geothermal Field Fluid Transportation Network"</p> <p>Autor: Garcia-Gutierrez, Alfonso, Martinez-Estrella, Juan I., Ovando-Castelar, Rosember, Vazquez-Sandoval, Abelardo, Rosales-Lopez, Cesar</p> <p>Revista: GRC Transactions, Vol. 37 (2013), pag. 709-714. ISSN: 0193-5933. ISBN: 978-1-62993-285-9.</p>

Rosember Ovando Castelar	<p>"Energy Analysis of the Cerro Steam Gathering System"</p> <p>Autor: A. García-Gutiérrez, J.I. Martínez-Estrella, R. Ovando-Castelar, I. Canchola-Félix, P.Jacobo-Galvan</p> <p>Revista: GRC Transactions, Vol. 38 (2014), pag. 735-742. ISSN: 0193-5933. ISBN: 978-1-63439-467-3.</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Evaluation and Optimization of the Cerro Prieto Geothermal Field Steam Transportation Network Efficiency — Estimation of Heat Losses From Pipe Fittings"</p> <p>Autor: Garcia-Gutierrez, A., R. Ovando-Castelar, J.I. Martinez-Estrella, I. Canchola-Felix and P. Jacobo-Galvan</p> <p>Revista: GRC Transactions, Vol. 39 (2015), pag. 847-854. ISSN: 0193-5933. ISBN: 978-1-5108-1724-1.</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Hydraulic model and steam flow numerical simulation of the Cerro Prieto geothermal field, Mexico, pipeline network"</p> <p>Autor: A. Garcia, A. F. Hernández, J. I. Martinez, M. Ceceñas, R. Ovando, I. Canchola</p> <p>Revista: Applied Thermal Engineering, Vol. 75 (2015), pag. 1229-1243, 2015. ISSN-1359-4311.</p>

Minerva Guadalupe Vargas Vega	<p>Impedance response of carbón nanotube titania electrodes dried under modified gravity.</p> <p>Autores:</p> <p>Thin Solid Films 519 (2011), 5403-5407.</p> <p>doi:10.1016/j.tsf.2011.02.055</p>
Minerva Guadalupe Vargas Vega	<p>Verification and experimental validation of a numerical simulation of natural convectin in a slender cylinder.</p> <p>Autores: J.Nuñez, M.López Caballero, E. Ramos, G. Hernández, Minerva Vargas and S. Cuevas.</p> <p>International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 38, December 2012, Pages 118-125.</p>
Minerva Guadalupe Vargas Vega	<p>Fabrication of single walled carbon nanotubes/poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(4-styrenesulfonate) layers under enhanced gravity drying.</p>

	<p>Autores: M.E. Rincón ^a, G. Alvarado-Tenorio ^a, M.G. Vargas ^b, E. Ramos ^a, M. Sánchez-Tizapa</p> <p><i>Thin Solid Films</i> 597 (2015) 70–76</p>
Minerva Guadalupe Vargas Vega	<p>Carbon Nanotubes/carbón xergel-nafion electrodes a comparative study of preparation methods.</p> <p>Autores: A. S. Ordeñana-Martínez & M. E. Rincón ^a, M. Vargas ^a, A. Estrada-Vargas ^a, N. Casillas ^a, M. Bárcena-Soto, E. Ramos</p> <p><i>Thin Solid Films</i> 597 (2012) 70–76</p>
Minerva Guadalupe Vargas Vega	<p>Evaporation dynamics and sedimentation pattern of a sessile particle laden water droplet.</p> <p>Autores: G. Corkidi, F. Montoya, G. Hernandez-Cruz, M. Vargas, J. L. Luviano-Ort, E. Ramos,</p> <p><i>Exp Fluids</i> (2016) 57:99, DOI 10.1007/s00348-016-2182-0</p>
Minerva Guadalupe Vargas Vega	<p>Evaporation dynamics and sediment pattern of a sessile particle laden water drop</p> <p>Autores: G. Hernandez-Cruz, Minerva Vargas, J. L. Luviano, J. A. Pimentel, G. Corkidi, E. Ramos.</p> <p>1st Int. Workshop on Wetting and evaporation: droplets of pure and complex fluids</p> <p>Marseilles, France, June 17th to 20th, 2013</p>
Enrique de Jesús Moreno Carpintero	<p>“Simulation of the Corrosion Behavior of Electric Transmission Lines Tower Legs By Means of Neural Networks”</p> <p>Autor: E. Moreno Carpintero, J.M. Malo, J. Uruchurtu Chavarin, J.A. Hernández</p> <p>Revista: <i>Int J Engg Techsci Vol 2(2) 2011, 150-160, IJETS www.techsciencepub.com/ijets.</i></p>
Enrique de Jesús Moreno Carpintero	<p>“Detection os Stress Corrosion Cracking in Dual-Phase Steel Using Electrochemical Noise and Impedance Spectroscopy”</p> <p>Autor: E.J. Carpintero-Moreno, J.G. González Rodríguez, J. Uruchurtu Chavarin, I. Rosales, B. Campillo and L. Leduc-Ledezma.</p> <p>Revista: <i>Corrosion: January 2013, Vol. 69, No. 1. p.p. 85-94. ISSN: 0010-9312.</i></p>

<p>Enrique de Jesús Moreno Carpintero</p>	<p>"Effect of Heat Treatment on the Stress Corrosion Cracking Susceptibility of a Dual-Phase Steel"</p> <p>Autor: E.J. Carpintero-Moreno, J.G. González Rodríguez, J. Uruchurtu Chavarín, I. Rosales, B. Campillo and L. Leduc-Ledezma.</p> <p>Revista: <i>Corrosion: September 2013, Vol. 69, No. 9. p.p. 843-8504. ISSN: 0010-9312.</i></p>
---	--

A continuación se muestra el respaldo de los documentos

EVALUACION DE LOS MODELOS DE PERDIDAS DE ENERGIA EN UN POZO INYECTOR DE VAPOR

R. Díaz De León¹, J.R Hernández Perez², O. Cazarez Candia³, OC. Benítez Centeno⁴

¹Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico No.27, C.P.62780,Zacatepec,Morelos,Mexico-
rky_197@hotmail.com; ²Instituto Mexicano del Petróleo-jrhernandezperez@gmail.com;
³ocazarez@imp.com.mx, Eje Central Lázaro Cárdenas, Col. San Bartolo Atepehuacán, México; ⁴Instituto
Tecnológico de Zacatepec -obece@itzacatepec.edu.mx

Área de participación: Termofluidos.

Resumen – En este trabajo se presenta la comparación de dos herramientas utilizadas para la simulación de pozos de inyección de vapor y predecir los perfiles de presión, temperatura, calidad de la mezcla y velocidades superficiales de la fase líquida y gaseosa, respectivamente. La primera consiste en un modelo acoplado contenido en simulador de yacimientos comercial y el SPV un modelo para calcular la caída de presión y las pérdidas de energía. Se compararan los resultados de las simulaciones con otros modelos de autores conocidos en literatura. Se evalúan los modelos de los anteriores autores respecto a su desempeño en la inyección de vapor en pozos verticales. Con este estudio pretendemos identificar que modelo de mejor forma para el estudio en investigaciones para la recuperación de petróleo.

Introducción

Una de las técnicas de la recuperación mejorada que se desarrolla en el instituto mexicano del petróleo, es la recuperación térmica de petróleo utilizando vapor inyectado en la formación, es similar a otros métodos de inyección de fluido caliente utilizando agua o gas. Sin embargo, ya que el vapor es un mejor portador de calor, una eficiencia de desplazamiento del petróleo se puede conseguir con vapor de agua que con el agua caliente o de gas.

Los frentes de vapor de alta temperatura también generan otros efectos favorables, tales como vaporización y condensación para que se logre que la viscosidad del petróleo disminuya y se consigue que fluya constante de manera ligera por los poros de la roca hasta llegar al pozo productor y así tener una mayor extracción del aceite.

Para conocer el efecto del vapor sobre el sistema roca-fluidos del yacimiento es necesario calcular con que presión, temperatura y calidad llega el vapor al fondo del pozo. Esto es afectado por las características físicas de pozo, el patrón de flujo desarrollado y las pérdidas de calor a lo largo de la tubería.

D. Montes Barrios¹, O. Cazarez Candia², O. C. Benítez Carrieno³.

¹Instituto Tecnológico de Zacatepec - davemoba@hotmail.com; ²Instituto Mexicano del Petróleo - ocazarez@imp.com.mx; ³Instituto Tecnológico de Zacatepec, Carretera Tecnológico No. 27, C.P. 62780, Zacatepec, Morelos, México - omarcbci@gmail.com

Área de participación: Termofluidos y Energía.

Resumen- La recuperación de petróleo en yacimientos puede realizarse a través de diferentes métodos. La elección de uno u otro método está determinada, por una parte, por las propiedades físicas de los materiales que componen al yacimiento (viscosidad, densidad, etc.); y por otra parte, por la manera en que se encuentran distribuidos tales materiales en el sistema; lo cual conduce a la identificación de regiones homogéneas y heterogéneas en el sentido de la variación espacial de alguna cantidad específica (porosidad, permeabilidad, densidad de fracturas). No obstante, en la práctica el factor económico es la razón de mayor peso que determina el uso de algún método de tal manera que se minimice la relación costo/beneficio.

Introducción

Combustión in-situ.

El proceso de la combustión in-situ (Figura 1) consiste en el quemado de cierta fracción del aceite original en el yacimiento con la finalidad de mejorar la recuperación de crudo, mediante la inyección de un gas conteniendo oxígeno. Una característica atractiva del proceso radica en que la porción que se quema es la de menos valor comercial (5-10% del aceite original).

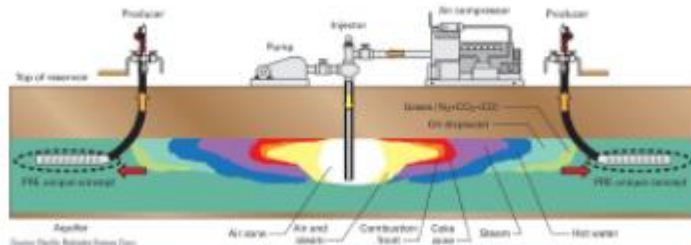


Figura 1. Proceso de combustión in-situ

SIMULACIÓN DE LA COMBUSTIÓN IN-SITU EN MEDIOS POROSOS CONSIDERANDO LA EXPANSIÓN TÉRMICA DE LOS FLUIDOS Y LA ROCA.

D. E. Martínez Lagunas¹, O. Cazarez Candia², O. C. Benítez Centeno³.

¹Instituto Tecnológico de Zacatepec, Cazada Tecnológico No. 27, C.P. 62760, Zacatepec, Morelos, México – diego.lagunas@outlook.com. ²Instituto Mexicano del Petróleo – ocazarez@imp.com.mx – Eje Central Lázaro Cárdenas, Col. San Bartolo Atepehuacán, México; ³Instituto Tecnológico de Zacatepec – obeco@itzacatepec.edu.mx-

Área de participación: Termofluidos y Energía

Resumen – En este trabajo se propone simular el frente combustivo que tiene lugar al experimentar en un tubo de combustión que contiene un tapón de roca, entre la matriz y la pared se puede considerar una factura típica de yacimiento. Lo anterior es para evaluar la viabilidad de la técnica para su aplicación en la recuperación de hidrocarburos. A su vez emula la técnica de combustión in-situ.

Introducción

Una de las tecnologías que se estudian actualmente es la inyección de aire, también conocida como Combustión in-Situ. Durante la aplicación de dicha tecnología se presentan fenómenos físico-químicos en sistemas matriz- fractura, tales como: 1) la hidrodinámica de flujos monofásico y multifásico, 2) transferencia de calor, 3) reacciones químicas, etc. Comúnmente el método de combustión in-situ se ha aplicado en yacimientos con un medio poroso homogéneo, sin embargo, en los últimos años se ha estado estudiando la posibilidad del uso de dicha técnica en yacimientos fracturados. La característica principal de estos yacimientos es que el medio poroso (matriz de roca) contiene una red de fracturas, las cuales complican la aplicación por la direccionalidad de la combustión in-situ debido a la canalización del aire en las fracturas. A pesar del esfuerzo de investigación que se ha realizado en los últimos años, sobre la hidrodinámica en un sistema fracturado, aún no se ha entendido por completo los fenómenos en dicho sistema. En la Figura 1 se muestra una estructura porosa donde se pueden observar los elementos que conforman a un poro.

SOMI
CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN
Año 4, No. 01, octubre 2017
ISSN 2395-8499

Thermal conductivity measurement equipment for heat insulating materials

Omar Christian Benítez Centeno¹, Minerva Vargas¹, Octavio Cazarez-Candia², José Campos Álvarez³, Jorgeli Riquelme Arizmendi¹, José Efraín Ruiz Ramírez¹
¹Instituto Tecnológico de Zacatepec – TecNM; Zacatepec Morelos, México, ²Instituto Mexicano del Petróleo-IMP; Cd. de México, ³Instituto de Energías Renovables –UNAM, Temixco Morelos. obece@itzacatepec.edu.mx;

RESUMEN

El presente trabajo, es la propuesta de una metodología experimental para la medición de la conductividad térmica enfocada para su aplicación en edificaciones sustentables dentro de la industria de la construcción. Tanto en México como a nivel internacional será cada vez más evidente la necesidad de edificaciones que guarden condiciones de confort térmico ante la actual demanda energética que el uso de equipos de aire acondicionado convencionales implica. Las edificaciones contemporáneas residenciales o industriales están usando nuevos materiales y técnicas de construcción además la interacción con procesos termo energéticos obliga a la necesidad de caracterizar térmicamente dichos materiales. La transferencia de energía en forma de calor por el mecanismo de conducción térmica es función directamente proporcional de la propiedad física de la conductividad térmica. Esta es intrínseca al material y condiciona el buen desempeño de operación y su eficiencia. El equipo para medir la conductividad térmica aquí propuesto basa su principio en la ley de Fourier a través de la técnica de placa caliente aislada para baja temperatura [1] y [2], usando la norma NMX-C-189-2010 [3], contemplando homogeneidad e isotropía en los materiales. Su límite de intervalo de operación al efectuar mediciones es para el rango de 10°C en la placa fría y 60°C en la placa caliente. El material que se probó es una mezcla de argamasa usada en la construcción para la región central de nuestro país. Los resultados obtenidos muestran los perfiles transitorios de las temperaturas durante los experimentos hasta su estacionario y la medición de la conductividad tiene buena concordancia con los reportados en la literatura.

PALABRAS CLAVE: Placa caliente aislada, Metrología, Nuevos materiales de construcción, Conductividad térmica.



¿PUEDEN LAS HABILIDADES DE INVESTIGACIÓN INFLUIR EN LA ACREDITACIÓN DE UNA CARRERA DE INGENIERÍA?

O.C. Benítez Centeno¹
M.G. Vaquera Viegas²
J.E. Ruiz Ramírez³

RESUMEN

Uno de los indicadores que influye en la acreditación de una carrera de ingeniería ante el Consejo de Acreditación de la Educación en Ingeniería CACEI, es la Investigación. En los últimos tres años se desarrollaron diversos proyectos de Ciencia Básica y Aplicada por profesores y estudiantes de licenciatura de Ingeniería Electromecánica. Los resultados de los proyectos se presentaron en diversos congresos, foros, talleres y fueron publicados en revistas científicas y técnicas. En este trabajo se muestran las estrategias en la categoría de Investigación para cubrir los requerimientos básicos para la acreditación.

ANTECEDENTES

La licenciatura de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Zacatepec tiene 30 años de antigüedad. Han egresado 50 generaciones que laboran en el sector público y privado del país. Actualmente cursan la licenciatura 651 estudiantes siendo el 4% del género femenino. La planta académica del programa está integrada por 27 profesores. Trece de ellos con estudios de posgrado (maestría y doctorado). La carrera de Ingeniería fue acreditada en febrero de 2010 por Consejo de Acreditación en la Enseñanza de la Ingeniería CACEI con una vigencia de cinco años. En la primera etapa de análisis del programa las observaciones de este organismo fue atender en forma oportuna las recomendaciones más relevantes. Además a la mitad de la vigencia de acreditación se solicitó un informe sobre las acciones tomadas al respecto. Los requisitos a cubrir sugeridos por CACEI en la categoría de Investigación fue fortalecer al menos dos líneas de investigación y tomar las medidas pertinentes para incrementar la participación de profesores y alumnos en proyectos de investigación y/o desarrollo tecnológico vinculados a ellas. Estas medidas se reportaron por Benítez Centeno, Martínez Mata y Moreno Carpintero (2012). Se contaba con dos líneas de investigación: Termodinámica registrada en Dirección General de Estudios Tecnológicos, DGEST con vigencia de 2011 a 2014. Además se encontraba en gestación la línea de Automatización y Controles Eléctricos. En ambas participaban doce catedráticos. El título del presente trabajo surge de las acciones realizadas durante los últimos tres años en el rubro de Investigación. La influencia de las actividades en las líneas de investigación y la dinámica de participación y compromiso de profesores y alumnos con el principal propósito de cumplir los objetivos de cada proyecto.

METODOLOGÍA

Se analizaron las diversas actividades que comprenden la categoría de Investigación: Proyectos y desarrollo tecnológicos con y sin financiamiento, Formación de Recursos Humanos, Divulgación y Difusión de resultados, Colaboración con otros grupos de investigación en el país, Patentes y Derechos de Autor en el período comprendido 2012 a 2014. El informe de término medio entregado al Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, (CACEI) permitió comparar los avances en cada uno de estos rubros.

1 Jefe del Departamento de Metalmeccánica, Instituto Tecnológico de Zacatepec, obccc@itzacatepec.edu.mx.
2 Catedrático del Departamento de Metalmeccánica, Instituto Tecnológico de Zacatepec, minerva.vv@itzacatepec.edu.mx.
3 Catedrático del Departamento de Metalmeccánica, Instituto Tecnológico de Zacatepec, jose.mf@itzacatepec.edu.mx.



Determinación de pérdidas de calor en la red de transporte de vapor del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC, con base en el estado físico del aislamiento térmico de vaporductos

de Zacatepec

Rosember Ovando Castelar¹, Alfonso García Gutiérrez¹, Juan Ignacio Martínez Estrella¹, Ismael Canchola Félix², Paul Jacobo Galván², Carlos Miranda Herrera² y Othón Mora Pérez²

¹Instituto de Investigaciones Eléctricas, Av. Reforma 113, Col. Palmira, 62490, Cuernavaca, Mor. Correo: rovando@iie.org.mx ²Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Residencia General de Cerro Prieto, Mexicali, BC.

Resumen

En el Campo Geotérmico de Cerro Prieto (CGCP), BC, el transporte de vapor desde los pozos hasta las plantas generadoras de electricidad se lleva a cabo mediante un extenso y complejo sistema de tuberías que típicamente se encuentran aisladas térmicamente con una capa de 2" de material aislante a base de lana mineral o fibra de vidrio, y una protección mecánica de aluminio o hierro galvanizado. Debido a la exposición a las condiciones meteorológicas a través del tiempo de operación del campo, el aislamiento ha experimentado cambios en su densidad y espesor y en ocasiones se ha perdido por completo, lo cual repercute en una mayor transferencia de calor de las tuberías hacia el medio ambiente. En este trabajo se analiza el impacto del estado físico del aislamiento térmico sobre las pérdidas de calor en las tuberías de la red de vaporductos del CGCP y se estima la magnitud de estas pérdidas mediante la aplicación de un método iterativo. Este método permitió determinar la temperatura de superficie con base en un balance de calor que considera los tres mecanismos básicos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación térmica. Finalmente, con base en la determinación de longitudes y diámetros para cada estado de aislamiento de los vaporductos y en las condiciones de operación globales de la red, se cuantifican las pérdidas de calor a través de los aislantes para toda la red de transporte. Los resultados obtenidos permitieron evaluar la magnitud de estas pérdidas en comparación con la pérdida global de energía que ocurre durante el transporte de vapor desde los pozos hasta las plantas de generación eléctrica.

Palabras clave: Campo Geotérmico de Cerro Prieto, red de transporte de vapor, aislamiento térmico, pérdidas de calor.

Determination of heat losses in the Cerro Prieto, BC, geothermal field steam transportation network based on the thermal insulation condition of the steam pipelines

Abstract

In Cerro Prieto Geothermal Field (CPGF), the steam from producing wells is transported to power plants through a large and complex system of pipes thermally insulated with a 2" thick mineral wool or a fiber glass layer and an external aluminum or iron cover. The insulation material has been exposed to weather conditions during the field operation and has suffered density and thickness changes. In some cases the insulation has been lost completely, increasing heat transfer from the pipes to the environment. This paper analyzes the impact of the conditions of thermal insulation on heat losses in the CPGF steam-pipeline network. The heat losses are calculated by applying an iterative method to determine the surface temperature based on a heat balance calculated from the three basic mechanisms of heat transfer: conduction, convection,



Metodología para el cálculo de pérdidas de calor en accesorios de la red de vaporductos del campo geotérmico de Cerro Prieto, BC

co de Zacatepec

Alfonso García Gutiérrez¹, Rosember Ovando Castelar¹, Juan Ignacio Martínez Estrella¹,
Ismael Canchola Félix², Carlos Miranda Herrera², Paul Jacobo Galván² y Oihón Mora
Pérez²

¹Instituto de Investigaciones Eléctricas, Av. Reforma 113, Col. Palmira, 62490, Cuernavaca, Mor. Correo: agg@iie.org.mx. ²Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Residencia General de Cerro Prieto, Mexicali, B.C.

Resumen

La red de vaporductos del campo geotérmico de Cerro Prieto (CGCP) incluye 165 km de tuberías y un gran número de accesorios diversos como válvulas, bridas, soportes, etc., instalados a través de la misma. Al evaluar la eficiencia del proceso de transporte de vapor a través de la red y determinar las principales fuentes de pérdida energética que la impactan, se ha identificado que los accesorios de la red representan una fuente importante de pérdida de calor debido a que, a diferencia de las tuberías, no se encuentran aislados térmicamente. En este trabajo se presenta una metodología para cuantificar la pérdida de calor en los principales accesorios de la red de vaporductos del CGCP, la cual se apoya en la información geométrica de los diferentes tipos de accesorios existentes en la red, las ecuaciones básicas de transferencia de calor y el cálculo de la eficiencia en aletas. Los resultados obtenidos fueron comparados contra datos de temperatura superficial en accesorios medidos en campo con tecnología infrarroja, y contra los resultados que se obtienen al modelar estos accesorios con un programa computacional comercial basado en la técnica de elementos finitos para resolver las ecuaciones de transferencia de calor correspondientes.

Palabras clave: Campo Geotérmico de Cerro Prieto, accesorios, red de tuberías, pérdida de calor.

A methodology for estimating heat losses in fittings of the Cerro Prieto, BC, geothermal field steam pipeline network

Abstract

The Cerro Prieto geothermal field (CPGF) steam-pipeline network includes 165 km of pipes and a large number of fittings, such as valves, flanges, and supports installed along the pipelines. When evaluating the efficiency of the steam transport process through the network and determining the main sources of energy loss that impact the network, fittings are known to represent an important source of heat loss since, unlike pipes, they are not thermally insulated. In this work, a methodology is described for quantifying heat loss in the main fitting types installed on the CPGF pipeline network. This methodology is based on the geometry of the installed fittings, basic convective heat transfer equations, and fin efficiency calculations. The results were compared with field surface temperature measurements on fittings made with infrared technology, and with results obtained from modeling the fittings with commercially-available software based on the technique of finite elements to solve the corresponding heat transfer equations.

Keywords: Cerro Prieto geothermal field, fittings, pipeline network, heat loss.



Estimation of Steam Pipeline Network Heat Losses at the Cerro Prieto Geothermal Field Based on Pipeline Thermal Insulation Conditions

Rosember Ovando-Castelar¹, Juan I. Martínez-Estrella¹, Alfonso García-Gutiérrez¹, Ismael Canchola-Félix², Carlos A. Miranda-Herrera², and Vicente P. Jacobo-Galván²

¹Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Mor., México

²Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoelectrónicos, Campo Geotérmico Cerro Prieto, Mexicali, BC, México

Keywords

Cerro Prieto geothermal field, Mexico, steam pipeline transportation network, thermal insulation conditions, heat losses

ABSTRACT

A study to estimate the magnitude of the heat losses from the Cerro Prieto Geothermal Field (CPGF) steam pipeline network was carried out based on an inventory of the physical condition of the pipeline insulations and field operating data. The heat loss calculations were performed using an iterative method that determines the pipe surface temperature based on a heat balance that takes into account the three basic mechanisms of heat transfer: conduction, convection and thermal radiation. For the inventory, a Geographical Information System was used to map and calculate the pipeline lengths with different insulation conditions and pipe diameters. An MS Excel worksheet-based program was developed to automatically compute the overall heat transfer coefficients according to the operating conditions of the pipeline network and for each thermal insulation condition. Results indicate that the estimated heat loss for the entire CPGF steam pipeline network amounted to 72.9 MWt, which is equivalent to 17.6 MWe of electric power and represents about 2.5% of the current installed capacity.

1. Introduction

Cerro Prieto is the largest liquid-dominated geothermal field in the world and the oldest Mexican geothermal field in operation. Its first power units were commissioned in 1973. The field comprises of four areas; i.e., Cerro Prieto-1 (CPU), Cerro Prieto-2 (CPD), Cerro Prieto-3 (CPT) and Cerro Prieto-4 (CPC). Currently there are 13 operating units of condensing type: four 110-MWe double-flash, four 37.5-MWe single-flash, four 25-MWe single-flash and one 30-MWe low-pressure, single-flash, for a total of 720 MWe (Gutiérrez-Negrin et al., 2010).

The power units are fed with the steam of 165 producing wells through a complex system of pipes that includes a high-pressure

(AP) and a low-pressure (BP) network (with the exception of CPU that only has high-pressure steamlines), altogether totaling a length of approximately 140 km. Pipe diameters range from 203.2 to 1219.2 mm (8 to 48").

Originally, all the pipes were thermally insulated with a 50.8 mm (2") thick mineral wool or fiberglass insulation and an outer protection (cover) of aluminum or galvanized iron. Due to the impact of weather conditions, some parts of the network's insulation present varying degrees of wear, including geometric distortion, loss of the outer cover, replacement of insulation type, or even no insulation, which has increased the steam pipeline heat losses.

In geothermal fields, the process of steam transport from producing wells to power units through a pipeline network involves dynamic changes in its thermal and transport properties which affect its final conditions. The energy losses associated with this process are mainly due to friction in pipes and fittings, transfer of heat to the environment, and condensation of steam and drainage through condensate drains.

The analysis of the heat losses related to the insulation condition of the steam pipeline network represents an important aspect for the identification of some areas of improvement for the system, since this makes it possible to estimate the relative magnitude of these energy losses compared with other mechanisms of loss, and in this way to evaluate the advisability of preserving insulations in the best condition possible, in terms of cost-benefit, by their impact on increasing efficiency during the steam transportation process.

Some studies on heat transfer in the CPGF steam transportation system include the works of Peña (1986) and Peña and Campbell (1988), who derived a model based on the polytropic expansion of steam as it flows and determined the energy losses in a horizontal large diameter and thermally insulated pipe network. This model calculates the pressure, temperature, enthalpy and steam moisture in a pipe, given the diameter, thickness and insulation type. However, the examples shown include relatively short pipes when compared to the CPGF total network length and number of integrated wells.

Other models (Schroeder, 1982; Marconcini and Neri, 1979) presented detailed studies to calculate the temperature at the surface of the thermal insulation and the heat gains or losses through a tube, while varying other flow factors. These models include

Improved Energy Utilization in the Cerro Prieto Geothermal Field Fluid Transportation Network

Alfonso García-Gutiérrez¹, Juan I. Martínez-Estrella¹, Rosember Ovando-Castelar¹
Ismael Canchola-Félix², Othón Mora-Pérez², and Sergio A. Gutiérrez-Espéricueta²

¹Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Mor., México

²Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos,
Campo Geotérmico Cerro Prieto, Mexicali, BC, México

Keywords

Cerro Prieto, transportation network, thermal performance, heat losses, improved energy utilization

ABSTRACT

The thermal performance and the potential for improving energy utilization at the Cerro Prieto geothermal field (CPGF) were evaluated. The study is based on the premise of no additional producing wells and includes the fluid transportation network only. For the evaluation of the transportation network performance, the mass, energy and exergy flows of the separated steam and water at selected points of the transportation network, the mass and heat losses from the separators, pipelines and fittings, and the partial (transportation sub-processes) and overall (wellhead to power plant inlet) thermal efficiencies were evaluated. The 1st law efficiencies range from 86.8 to 98.1% for the individual fluid transportation sub-processes while those of the 2nd law vary from 78.9 to 95.9%. The overall efficiencies are 67.6% and 75.2%, respectively. The potential for improvement of energy utilization involved the evaluation six areas of opportunity. Four of them involve diverse schemes for energy recovery in the steam transportation pipeline network, one for energy recovery from the separated water, and the other involves reducing heat losses from the pipelines and fittings. The analysis shows a potential for installing 71.6 MWe of additional power which represents an increase of 9.9% over the field installed capacity of 720 MWe. In addition, it is possible to gain an equivalent of 11.2 MWe by reducing heat losses from the steam transportation pipeline networks and fittings. Hence, by maintaining the same rate of fluid and energy extraction and the same number of producing wells, it is possible to increase the field energy utilization by 82.82 MWe or 11.5% of the present installed capacity.

1. Introduction

In large geothermal fields, the performance of the pipeline fluid transportation network is affected by the actual physical

conditions, complexity, and operating strategies of the network components. In fact, one of the largest problems in analyzing pipeline network behavior is the difficulty in accounting for the actual component features as some conditions change from the designed ones. This occurs, for example, when a turbine is connected to the pipelines. In fact, for these devices, one flow rate corresponds to each pressure value and vice versa. For this reason, the pipeline network operating points depend on both pipe geometry, and the physical behavior of the other components. In the case of the CPGF, the size, complexity, interconnectivity, physical condition of the pipes, thermal insulation and operating philosophy are some of the factors that affect the fluid transportation network thermal performance such that it is possible to improve utilization of the energy extracted from the reservoir without additional wells. Cerro Prieto started generating electricity in 1973 with two-37.5 MWe units in the Cerro Prieto 1 area. Since then, new power plants, wells and pipelines were added to reach the present capacity of 720 MWe in the Cerro Prieto 1-4 areas based on steam turbines only, i.e., the energy of the unflashed water is not utilized. Also, an adequate steam supply was provided through the installation of inter-field pipeline connections while at the same time the physical condition of some network components like pipeline thermal insulations was losing effectiveness and design conditions were changing.

Steam flow modeling and energy-exergy analysis of geothermal fields, often including power plant analysis, appears to have started with the evaluation of a six-well network of Larderello (Marconcini and Neri, 1979). Bettagli and Bidini (1996) carried out an energy-exergy study of the pipeline network in the Larderello-Farinetto-Valle Secolo, Italy, area. DiMaria (2000) analyzed the pipeline network of a geothermal power plant operating under design and off-design conditions. White and Morris (2000) performed an energy and efficiency audit of the Wairakei geothermal power station and reported a snapshot of the plant's operation on 15 February 2000. Quijano (2000) performed an exergy analysis of the Ahuachapan and Berlin geothermal fields. Kwambai (2005) performed an exergy analysis of the Olkaria-I power plant and computed exergy flows and efficiencies of the production and separation processes, the fluid transportation

Energy Recovery Using Turboexpanders in Production Wells and Gathering Systems With High Pressures

Alfonso García-Gutiérrez¹, Juan I. Martínez-Estrella¹, Rosember Ovando-Castelar¹, Ismael Canchola-Félix², Sergio Gutiérrez-Espéricueta², Abelardo Vázquez-Sandoval³, César Rosales-López³

¹Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Mor., México

²Comisión Federal de Electricidad, Campo Geotérmico Cerro Prieto, Mexicali, BC, México

³Comisión Federal de Electricidad, Campo Geotérmico Los Hornos, Puebla, México

Keywords

Steam gathering systems, energy recovery, turboexpanders, Cerro Prieto, Los Hornos

ABSTRACT

This paper discusses the potential for energy recovery using turboexpanders to take advantage of some high pressures currently not used in the production and gathering system of two geothermal fields. Losses of available high-pressure include the pressure drop occurring at the wellhead production orifice plates which reduce the fluid pressure from its wellhead value to that of current steam separation and transportation, and pressure drops occurring in the flow regulation valves of some steam transportation pipelines. Three cases were analyzed. Two of these, one for the Cerro Prieto Geothermal Field (CPGF) and one for the Los Hornos Geothermal Field (LHGF), involve the use of a very high-pressure steam separator-turboexpander system to take advantage of the pressure drop occurring in the production orifice plate of some wells. The results show a potential to recover 20.7 MWe and 10.6 MWe, respectively. The other case involves replacement of two regulation valves close to the inlet of the Cerro Prieto 4 (CP4) power plants by turboexpanders to take advantage of the large steam flow rate and pressure drop occurring at these valves. The results for this case show a potential for energy recovery of 6.3 MWe. No additional mass or energy needs to be extracted from the reservoir nor would any additional pollution be involved.

1. Introduction

In several steam gathering systems, there exist some high pressures that are not used during system operation and as a result an important quantity of the energy extracted from the reservoir is wasted. Such losses commonly occur at the production orifice plate of geothermal wells which reduce the wellhead pressure to that of steam separation and transportation. Wellhead pressures may range between 300 and 1000 psig while separation pressures may be of the order of 150 to 250 psig, thus pressure drops are

large and energy is wasted. Another case of large pressure drops occurs when the steam pressure prior to delivery to a power plant is too large and has to be throttled down to match the turbine inlet pressure.

There are, however, alternatives to use advantageously these high pressures in order to improve energy utilization and to generate additional electricity without additional mass or energy extraction from the reservoir, and with no added pollution. Such an alternative is the use of separators-turboexpander systems at the wellhead of very high pressure geothermal wells to separate and expand steam to a pressure after expansion suitable for normal steam separation and transportation to the power plants. Another alternative is to replace pressure reducing devices of steam pipelines with turboexpanders when the steam flow rate and pressure drop across the throttling devices are high to recover that energy.

A turboexpander, turbo expander or expansion turbine, is a centrifugal or axial flow turbine through which a high pressure gas is expanded to produce work that is often used to drive a compressor. Also a turboexpander is defined as a radial in-flow or centrifugal turbine capable of efficient extraction of energy from any high-pressure gas being expanded through it (Lat, 2013). There exist three basic combinations of the expansion unit: (a) expander-compressor; (b) expander-generator, and (c) expander-brake. The expander-generator arrangement may be in three configurations: Expander-Gearbox-Generator, Expander-Generator, and Expander-High-speed Generator. Figure 1 shows schematic diagrams of an expander-compressor and an expander-generator, while Figure 2 shows system views of turboexpander rotors.

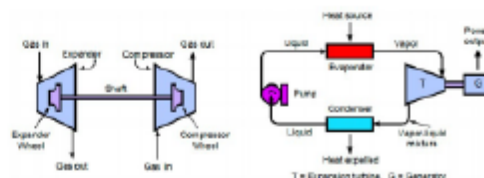


Figure 1. Schematic diagram of expander-compressor (left side) and expander-generator (right side) system.

Thermal Performance of the Los Humeros Geothermal Field Fluid Transportation Network

Alfonso García-Gutiérrez¹, Juan I. Martínez-Estrella¹, Rosember Ovando-Castelar¹,
Abelardo Vázquez-Sandoval², and César Rosales-López²

¹Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Mor., México

²Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoelectrónicos, Puebla, México

Keywords

Los Humeros, transportation network, thermal performance, efficiency, heat and mass losses

ABSTRACT

The thermal performance at the Los Humeros geothermal field (LHGF) fluid transportation network was evaluated in terms of the mass, energy and exergy flows at selected points of the network, as well as the mass and heat losses from the pipelines, fittings, condensate drains and steam separators. Thermal efficiencies of the transportation sub-processes and overall steam field (wellhead to power plant inlet) processes were also evaluated. The 1st law efficiency between wellheads and the wells flow measuring orifice plates was found to be 100%, while the corresponding 2nd law efficiency was 91.4%. The transportation network, comprised between the wells flow measuring orifice plates and the power plant steam delivery points, showed 1st law and 2nd law efficiencies of 93.5% and 90.5%, respectively. For the overall steam field, 1st law efficiency was 93.5% whereas 2nd law efficiency was 82.7%. This evaluation excluded the existing power plants.

1. Introduction

In geothermal fields, the fluid from producing wells is usually transported through a network of pipelines to the power plants which may be sited several hundred of meters or even some kilometers away. Thus, the performance of the pipeline transportation network is affected among others, by the type of fluid being transported (one- or two-phase), the network geometry and complexity, the actual thermal insulation condition and steam field operating strategies.

In fact, one of the largest problems in analyzing pipeline network behavior is the difficulty in accounting for the actual component operational and physical features as some conditions change from the design specifications. This occurs, for example, when the pipelines thermal insulation deteriorates with time, or when pipelines carry less fluid than the flow specified at normal

operation conditions, etc. Hence, the departure from operational design specifications of the pipeline network components and operating philosophy are some of the factors that affect the fluid transportation network thermal performance.

Steam flow modeling and energy-exergy analysis of geothermal fields, often including power plant analysis, appears to have started with the evaluation of a six-well network of Larderello (Marconcini and Neri, 1979). Later on, several studies of different geothermal fields appeared (Betagglia and Bidini, 1996; Di Maria, 2000; White and Morris, 2000; Quijano, 2000; Kwambai, 2005; Kaplan and Schochet, 2005; Aqiu et al., 2005; Otzuik et al., 2006).

In Mexican geothermal fields, Garcia-Gutierrez et al. (2006, 2009) carried out simulation studies of the Cerro Prieto and Los Azufres geothermal fields, which included optimization of some study cases. In a further study, Garcia-Gutierrez et al. (2012) carried out an overall assessment of the Cerro Prieto network thermal-hydraulic performance whereby a series of opportunities for improving the network performance and the energy utilization of the produced energy within the field were detected. A thorough review of relevant literature was carried in this work.

This study presents the evaluation of the thermal performance of the LHGF fluid transportation network. The study is a snapshot of the steam field operation on June 2012 while operating on steady-state mode. It covers only the fluid production and transportation system, composed of the production wells and the pipeline network for fluid transportation to the power plants.

2. Description of the LHGF Fluid Transportation Network

The LHGF is the third geothermal field in importance in Mexico, after Cerro Prieto and Los Azufres. It started commercial operation in 1990 and currently there are eight back-pressure units of 5 MWe each with a total operating capacity of 40 MWe. The more recent unit (Unit 8) was commissioned in April 2008 (Gutiérrez-Negrin et al., 2010). At the time this study was carried out two 25 MWe condensing power plants (U-9 and U-10) were under construction and near to be commissioned as part of project Humeros II (Vázquez-Sandoval, 2011).



Energy Analysis of the Cerro Steam Gathering System

Alfonso García-Gutiérrez¹, Juan. I. Martínez-Estrella¹, Rosember Ovando-Castelar¹,
Ismael Canchola-Félix², and Paul Jacobo-Galvan²

¹Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Mor., México

²Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos,
Campo Geotérmico Cerro Prieto, Mexicali, BC, México

Keywords

Cerro Prieto, gathering system, thermal performance, energy analysis, heat losses

ABSTRACT

An energy analysis of the Cerro Prieto high- and low-pressure (HP and LP) steam gathering networks was performed to determine the thermal efficiencies of the partial (transportation sub-processes between selected points) and overall (wellhead to power plant inlet) processes from mass, energy and exergy flows of the separated steam and water. A detailed evaluation of heat losses from the gathering system complemented this analysis which considered the physical condition of the pipelines' and fittings' thermal insulation, and losses through the condensate drains. First law efficiencies of the partial steam transportation processes ranged from 86.8 to 98.1% while those of the 2nd law varied from 78.9 to 95.9%. The respective overall efficiencies were 67.6% and 75.2%. Total heat losses from the HP and LP gathering networks amounted to 180.6 MWt of which 72.9 MWt were lost through the pipelines thermal insulation, 33.7 MWt from the pipelines fittings, and 74.0 MWt were lost from the condensate drains. The analysis excluded the power plants.

1. Introduction

The Cerro Prieto Geothermal Field (CPGF) is the oldest Mexican geothermal field in operation whose first power unit was commissioned in 1973. It is also the largest liquid-dominated geothermal field in the world. Exploitation and growth with time gave place to a complex gathering system with multiple steam sub- and main collectors and interconnections among field areas and a decline in steam production. The impact of operational and weather conditions resulted in varying degrees of wear, including geometric deformation, loss of the outer cover, replacement of insulation type, or even no insulation in some parts of the pipelines which has increased the system heat losses. Thus, the departure from operational design specifications of the pipeline network

components and operating philosophy are some of the factors that affect the fluid transportation network thermal performance.

Energy-exergy analysis of geothermal fields started with the Larderello six-well network evaluation by Maronecini and Neri (1979). Further analysis of other geothermal fields appeared subsequently (Benegghi and Bidini, 1996; DiMaria, 2000; White and Morris, 2000; Quijano, 2000; Kwambai, 2005; Kaplan and Schochet, 2005; Aqul et al., 2005; Otrunk et al., 2006). Regarding Mexican geothermal fields, García-Gutiérrez et al. (2012, 2013) performed an analysis for improving energy utilization in the CPGF and evaluated the thermal performance of the Los Hornos Geothermal Field (LHGF), respectively. Heat transfer in the CPGF gathering system was analyzed by Peña (1986) and Peña and Campbell (1988) who determined the energy losses in a horizontal large diameter, thermally insulated pipe network. However, the examples shown include relatively short pipes and a small number of wells when compared to the actual CPGF total system. Ovando-Castelar et al. (2012) estimated the heat losses at the CPGF gathering system considering the physical condition of the pipeline thermal insulation. Other models (Schroeder, 1982; Maronecini and Neri (1979) showed calculation methodologies of the temperature at the surface of thermal insulations and the heat gains or losses through a tube, while varying other factors. These models include conduction, convection and radiation for heat loss calculation in thermally insulated pipes.

This study describes an energy analysis of the CPGF gathering system and the evaluation of its thermal performance and the source of main heat losses. The field power plants are excluded from the analysis.

2. Description of the CPGF Steam Gathering System

The Cerro Prieto geothermal field is the largest liquid-dominated geothermal field in the world with an installed capacity of 720 MWe and thirteen condensing power plants; however, the currently operating capacity is 570 MWe. The field comprises four areas named Cerro Prieto-1 (CPU), Cerro Prieto-2 (CPD), Cerro Prieto-3 (CPT) and Cerro Prieto-4 (CPC). Separated steam



Evaluation and Optimization of the Cerro Prieto Geothermal Field Steam Transportation Network Efficiency — Estimation of Heat Losses From Pipe Fittings

Alfonso García-Gutiérrez¹, Rosember Ovando-Castelar¹, Juan I. Martínez-Estrella¹,
Ismael Canchola-Félix², and Paul V. Jacobo-Galván²

¹Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Mor., México

²Comisión Federal de Electricidad, Residencia Cerro Prieto,
Mexicali-Pascualitos-Pescaderos, B.C., México
agg@iie.org.mx

Keywords

Cerro Prieto geothermal field, fittings, pipeline network, heat loss, finite element modeling

ABSTRACT

The present work is part of a much larger project aimed at improving the performance of the Cerro Prieto Geothermal Field (CPGF) steam gathering network by reducing heat losses and improving the efficiency of energy utilization. During evaluation the efficiency of steam transport in the network, pipe fittings were identified to represent an important source of heat loss since, unlike the pipes, they are not thermally insulated. In this work, a methodology for quantifying heat loss in the various fitting types installed in the CPGF steam gathering network is described. This methodology is based on the geometry of the different fittings, and the basic equations for convective heat transfer and fin efficiency calculations. The results were compared with field surface temperature measurements on fittings, carried out with infrared technology and with modelling results of typical fittings using commercially-available software based on the FEM method to solve the corresponding heat transfer equations.

1. Introduction

In geothermal fields, the main source of energy loss during steam gathering and transportation to the power plants are friction, heat losses from pipelines and fittings and drainage of condensed steam along the pipelines. Knowledge of heat losses from pipelines and fittings associated to the physical condition of the thermal insulation represents an important aspect in the evaluation of areas of opportunity to improve energy utilization. This allows determination of the relative magnitude of each heat loss component compared to other loss mechanisms, and serves to evaluate the convenience of keeping the pipelines and fittings thermal insulation in optimum condition in terms of cost and benefit due to their impact in minimizing energy losses and increasing the efficiency of steam transportation.

The CPGF is the largest liquid-dominant geothermal field of the world. It has an installed capacity 720 MWe, based on 13 generating units of the condensing type (Gutiérrez-Negría et al., 2010), although its current operating capacity is 570 MWe. The field is divided into four areas named Cerro Prieto One (CP1), Cerro Prieto 2 (CP2), Cerro Prieto 3 (CP3) and Cerro Prieto 4 (CP4). The units are fed with steam produced by 165 wells which is transported in a 140 km long gathering network. The CPGF steam pipeline network comprises 165 km of pipelines and a large number of fittings like valves, flanges, pipe legs or supports, etc., installed along the pipelines. The pipelines have diameters between 8" and 40", and were originally insulated with a 2" layer of mineral wool or fiberglass and an external cover of aluminum or galvanized iron. Pipe fittings (valves, flanges, pipe supports, etc.) are not thermally insulated due to practical reasons and to the need to periodic maintenance, and thus, they represent an important loss of energy throughout the network.

In a recent study of the CPGF steam gathering and transportation network (Ovando Castelar et al., 2009), the effect of the physical conditions of the pipelines and fittings thermal insulation on heat losses in the network was analyzed, assuming average or typical operating and ambient conditions. It was found that heat transfer from a non-insulated



Contents lists available at ScienceDirect

Applied Thermal Engineering

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/apthermeng



de Zacatepec

Hydraulic model and steam flow numerical simulation of the Cerro Prieto geothermal field, Mexico, pipeline network



A. García-Gutiérrez^{a,*}, A.F. Hernández^a, J.I. Martínez^a, M. Ceceñas^a, R. Ovando^a, I. Canchola^b

^a Instituto de Investigaciones Eléctricas, Ave. Reforma 115, Col. Palmira, Cuernavaca, Mex 62490, Mexico

^b Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Carretera Pascualito-Pescadores, Km. 26.5, Mexicali, BC 21700, Mexico

HIGHLIGHTS

- Extensive literature review of flow models of geothermal steam gathering networks.
- Hydraulic model of the Cerro Prieto geothermal field steam network.
- Selection and validation of the employed pressure-drop model.
- Numerical flow simulation of the world's largest geothermal steam gathering network.
- Detailed network pressure drop analysis and mapping of steam flow distribution.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 8 January 2014
Received in revised form 3 September 2014
Accepted 6 September 2014
Available online 4 November 2014

Keywords:

Steam pipeline network
Numerical simulation
Cerro Prieto
Hydraulic model
Pressure losses
Heat losses
Model documentation

ABSTRACT

The development of a hydraulic model and numerical simulation results of the Cerro Prieto geothermal field (CPGF) steam pipeline network are presented. Cerro Prieto is the largest water-dominant geothermal field in the world and its transportation network has 162 producing wells, connected through a network of pipelines that feeds 13 power-generating plants with an installed capacity of 720 MWe. The network is about 125 km long and has parallel high- and low-pressure networks. Prior to this study, it was suspected that steam flow stagnated or reversed from its planned direction in some segments of the network. Yet, the network complexity and extension complicated the analysis of steam transport for adequate delivery to the power plants. Thus, a hydraulic model of the steam transportation system was developed and implemented numerically using an existing simulator, which allowed the overall analysis of the network in order to quantify the pressure and energy losses as well as the steam flow direction in every part of the network. Numerical results of the high-pressure network were obtained which show that the mean relative differences between measured and simulated pressures and flowrates are less than 30%, which is considered satisfactory. Analysis of results led to the detection of areas of opportunity and to the recommendation of changes for improving steam transport. A main contribution of the present work is having simulated satisfactorily the largest (to our knowledge), and probably the most complex, steam pipeline network in the world.

© 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

In geothermal fields, the steam from producing wells is usually transported through a network of steam pipelines to the power plants which may be sited several hundred of meters or even some kilometers away. The network geometry becomes rather

complicated and the pressure and temperature drop along the network may become quite high. Thus, it becomes quite difficult to predict the pressure or flowrate changes due to normal operation or events like the opening or regulating or closing of the valves of wells, pipelines or power plants; the integration of new wells; shut-down of existing wells, and start-up or shut down of power plants. Therefore, numerical modeling and simulation of the steam transportation network become essential to obtain a detailed knowledge of the operating conditions, pressures, temperatures and flowrates at almost any position in the network; information

* Corresponding author. Tel.: +52 777 362 381x7306; fax: +52 777 362 3864. E-mail address: aggarcia@iee.org.mx (A. García-Gutiérrez).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermeng.2014.09.088>
1359-4311/© 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved.





A continuación, se muestra la tabla-resumen de los artículos de los integrantes de la LGAC de Modelado y Simulación de Procesos:

PROFESOR	Congreso Internacional
Dr. Omar Christian Benítez Centeno Dra. Minerva Guadalupe Vargas Vega	Equipment for thermal conductivity measurement applied to new building materials, Environment Symposium at the XXVII International Materials Research Congress (2018)
Dr. Omar Christian Benítez Centeno Dra. Minerva Guadalupe Vargas Vega	Ponencia: "Thermal conductivity measurement equipment for heat insulating materials" Autor: Omar Christian Benítez Centeno, Minerva Vargas, Octavio Cazarez-Candia, José Campos Álvarez, Jorgeli Riquelme Arizmendi, José Efraín Ruíz Ramírez Congreso: SOMI XXXII Congreso de Instrumentación. Octubre de 2017
Dr. Omar Christian Benítez Centeno	Ponencia: Simulación de la combustión in-situ en medios porosos considerando la expansión térmica de los fluidos y la roca Autor: Diego E. Martínez Lagunas, Octavio Cázarez Candia, Omar C. Benitez Centeno. Congreso Internacional de Tecnología Innovación y Docencia. Abril 2015
Dr. Omar Christian Benítez Centeno	Ponencia: Simulación de la combustión in-situ en medios porosos carbonatados considerando la generación de CO ₂ Autor: David Montes Barrios. Martínez Lagunas, Octavio Cázarez Candia, Omar C. Benitez Centeno. Congreso Internacional de Tecnología Innovación y Docencia. Abril 2015
Dr. Omar Christian Benítez Centeno	Ponencia: Evaluación de los modelos de pérdidas de energía en un pozo inyector de vapor Autor: Ricardo Díaz de León, Octavio Cázarez Candia, Omar C. Benitez Centeno. Congreso Internacional de Tecnología Innovación y Docencia. Abril 2015
Dr. Enrique de Jesús Moreno Carpintero Dr. Omar Christian Benítez Centeno	Evaluación de corrosión en una solución microaleado bioetanol acero uso técnicas electroquímicas, XXIV International Materials Research Congress (Within the 6J Nace symposium corrosion and metalurgy), Agosto, Cancun, Q. Roo, Mex (2015).



Minerva Guadalupe Vargas Vega	<p>Mejoramiento del comportamiento aerodinámico de una canastilla experimental.</p> <p>Congreso XXIII Internacional Anual de la SOMIM 20-22 Septiembre de 2017, Cuernavaca Morelos México.</p> <p>Autores: Guillermo Ramírez, Minerva Vargas Guillermo Hernández-Cruz, José Antonio, Castillo, Eduardo Ramos.</p>
Minerva Guadalupe Vargas Vega	<p>Visualización del mezclado de fluidos</p> <p>Autores: E. Moreno Castañeda, J. L Luviano, E.Ramos, G. Hernández-Cruz, Minerva Vargas.</p> <p>Congreso Internacional de Tecnología Innovación y Docencia. Abril 2015</p>
Minerva Guadalupe Vargas Vega Omar Christian Benítez Centeno	<p>Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de los principales parámetros de funcionamiento de un panel solar.</p> <p>Autores: J.E. Ruiz-Ramírez, O. Sarmiento, M. G. Vargas Vega, O.C. Benítez, A.J. Martínez Mata.</p> <p>Congreso Internacional de Tecnología Innovación y Docencia. Abril 2015</p>
Minerva Guadalupe Vargas Vega Omar Christian Benítez Centeno	<p>Análisis cuantitativo de recurrencia de superficies rugosas aplicado a perfiles ópticos y de speckle.</p> <p>Autores: O. Sarmiento, M. G. Vargas Vega, J.E. Ruiz Ramírez, O.C. Benítez.</p> <p>Congreso Internacional de Tecnología Innovación y Docencia. Abril 2015</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>Experimental and Theoretical Study of Heat Conduction in Rock Spheres"</p> <p>Congreso: I Congreso Internacional en Tecnología e Innovación 2011, I-CITI-2011, Zacatepec, Morelos, México, 11-15 de abril de 2011.</p> <p>Autores: Contreras Palacios A., Cazarez Candia O., Torres Tapia I. G., Ovando Castelar R, Campos Álvarez J.</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Modeling a BWR vent line using RELAP5"</p> <p>Congreso: The 19th Pacific Basin Nuclear Conference (PBNC 2014), August 24-28, 2014, Vancouver, British Columbia, Canada</p> <p>Autores: M. Ceceñas-Falcón, R. Ovando-Castelar, and J.E. Rivera-Ortega.</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Analysis of the Heat Losses in the Cerro Prieto Geothermal Field Transportation Network Based on Thermal Insulation Condition of Steam Pipelines: A Quantitative Assessment"</p> <p>Congreso: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015</p>

	<p>Autores: Rosember Ovando-Castelar, Juan Ignacio Martínez-Estrella, Alfonso García-Gutiérrez, Ismael Canchola-Félix, Paul Jacobo-Galván, Carlos Miranda-Herrera, Othón Mora-Perez</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Using GIS for Practical Geothermal Applications: an Inventory of the Thermal Insulation Condition of the Cerro Prieto Geothermal Field Pipeline Transportation Network"</p> <p>Congreso: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015</p> <p>Autores: Juan Ignacio Martínez-Estrella, Rosember Ovando-Castelar, Alfonso García-Gutiérrez, Cinthya Gutiérrez-Lara, Ismael Canchola-Félix, Paul Jacobo-Galván</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>Thermal Efficiency of the Los Humeros Geothermal Field Fluid Transportation Network"</p> <p>Congreso: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015</p> <p>Autores: Alfonso Garcia-Gutierrez, Juan. I. Martinez-Estrella, Rosember Ovando-Castelar, Abelardo Vazquez-Sandoval, Cesar Rosales-López</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>The Potential for Energy Recovery and Electricity Generation in High-Pressure Production Wells and Gathering Systems Using Turboexpanders"</p> <p>Congreso: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015</p> <p>Autores: Alfonso Garcia-Gutierrez, Juan. I. Martinez-Estrella, Rosember Ovando-Castelar, Ismael Canchola-Felix, Vicente P. Jacobo-Galvan, Abelardo Vazquez-Sandoval, Cesar Rosales-López</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Energy Recovery in the Cerro Prieto Geothermal Field Fluid Transportation Network"</p> <p>Congreso: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015</p> <p>Autores: Alfonso Garcia-Gutierrez, Juan. I. Martinez-Estrella, Rosember Ovando-Castelar, Ismael Canchola-Félix, Paul Jacobo-Galvan</p>
Rosember Ovando Castelar	<p>"Thermal Performance of the Cerro Prieto Geothermal Field Fluid Transportation Network"</p> <p>Congreso: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015</p> <p>Autores: Alfonso Garcia-Gutierrez, Juan. I. Martinez-Estrella, Rosember Ovando-Castelar, Ismael Canchola-Félix, Paul Jacobo-Galvan</p>





<p>Rosember Ovando Castelar</p>	<p>"Application of perturbations to a Relap5 Hydraulic Simulation to determine system frequency response"</p> <p>Congreso: Nuclear Power: Leading the Supply of Clean, Carbon Free Energy. 2016 ANS Annual Meeting, June 12–16, 2016. New Orleans, LA, USA.</p> <p>Autores: Miguel Ceceñas-Falcon, Ricardo Jimenez-Sanchez, Rosember Ovando-Castelar</p>
<p>Enrique de Jesús Moreno Carpintero</p>	<p>Ponencia: "Study of Stress Corrosion Cracking of a Microalloyed Steel in NaCl Solution".</p> <p>Autor: Enrique de Jesús Moreno Carpintero, José Gonzalo González Rodríguez, Jorge Uruchurtu Chavarin, Isaí Rosales Cadena, Bernardo Campillo Ilianaes, Luis Adolfo Leduc Lezama.</p> <p>Congreso: XII NACE Central Mexico Section International Congress, XXII International Materials Research Congress, Agosto 2013.</p>
<p>Enrique de Jesús Moreno Carpintero</p>	<p>Ponencia: "Study of Stress Corrosion Cracking of a Microalloyed Steel in NaCl Solution".</p> <p>Autor: Enrique de Jesús Moreno Carpintero, Juan Fernando Hernández Rodríguez, Fernando Lizama Bautista, Oscar Sarmiento Martínez, José Gonzalo González Rodríguez, Jorge Uruchurtu Chavarin, Erika Darnely Rojas Ayala.</p> <p>Congreso: XIII NACE Central Mexico Section International Congress, XXII International Materials Research Congress, Agosto 2014.</p>





EDUCACIÓN

Sociedad Mexicana
de Materiales A.C.



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Zacatepec

August 2018

TO WHOM IT MAY CONCERN
P r e s e n t

This is to certify that *Omar Christian Benítez, Octavio Cázarez Candia, Minerva Vargas Vega, José Campos Álvarez, José Efraín Ruiz Ramírez, Jorgelí Riquelme Arizmendi* presented the contribution: **EQUIPMENT FOR THERMAL CONDUCTIVITY MEASUREMENT APPLIED TO NEW BUILDING MATERIALS** as Oral modality, in the Materials and the Environment Symposium at the XXVII International Materials Research Congress held in Cancun, Mexico from August 19th to 24th, 2018.

Sincerely,

Claudia Gutiérrez-Wing
President





EDUCACIÓN



TECNOLÓGICO
DE MÉXICO



CCADDT
CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO



JART
JUNTA ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

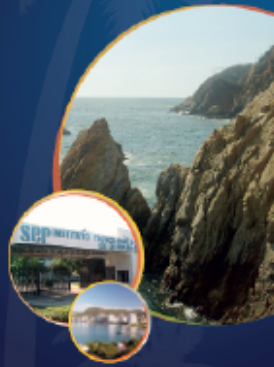


UNAM
POSGRUADO



atepec

SOMIXXXII
CONGRESO DE INSTRUMENTACIÓN



ACAPULCO, GRO., MÉXICO,
DEL 25 AL 27 DE OCTUBRE DEL 2017

El Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico
de la Universidad Nacional Autónoma de México,
el Instituto Tecnológico de Acapulco
y el Centro de Investigación Científica y Tecnológica de Guerrero

Otorgan la presente

CONSTANCIA

à: Omar Christian Benítez Centeno, Minerva Vargas Vega, Octavio Cazarez Candia,
José Campos Alvarez, Jorgeli Riquelme Arizmendi, José Efraín Ruiz Ramírez

por haber presentado el trabajo

Thermal conductivity measurement equipment for heat insulating materials

Acapulco, Gro., México., 27 de octubre del 2017

Por el Comité Organizador

Dr. Rodolfo Zavella Spezia
Director
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico





EDUCACIÓN



ANFEI DIGITAL

Año 3, número 3, Junio de 2015

ISSN: 2007-1880

Memorias

XLII Conferencia Nacional de Ingeniería

La Formación de los Ingenieros en México

El impacto de las experiencias de la acreditación, certificación y evaluación en la formación de los ingenieros



Sede: Instituto Tecnológico de Ensenada
15-17 de junio del 2015

Consejo Editorial. Dr. Francisco Javier Delgado Casado, Escuela de Diseño, Ingeniería y Arquitectura, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey-Campus Estado de México; Ing. Rogelio García Rivera, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León; Dr. Oscar Manuel Cuatrecasas Casar, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco; Ing. Talo Raúl Félix Castañón, Instituto Tecnológico Superior, Progreso; Dr. Héctor Román Toledo, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara; M.G.A. Jaime Armando Barrientos Carrón, Instituto Tecnológico de Puebla; **Comité Académico.** Dr. Fernando Rafael Antonio Sanguino, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua; Dr. Arayo Jorge Sigala, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León; Dr. José Manuel Pineda Hernández, Instituto Tecnológico de Toluca; Dra. Alma Jovita Carrasco Cruz, Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Tlaxcala; M. en I. Fernando Wacziarg Chagolla, Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México; Ing. Víctor Manuel Farragón Ferrández, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas del Instituto Politécnico Nacional; Ing. Jorge Hualde del Valle, Asesor Académico de la ANFEI; **Comité Ejecutivo de la ANFEI.** Presidenta: Dr. Julia Arcezo Castañón Elizavinda, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León; Vicepresidenta General: M. en E. Dora Beatriz Mijangos, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Instituto Politécnico Nacional; Secretaria General: Dr. Carlos Aguilar Escalante Sandoval, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México; Tesorero: Dr. José Ángel Aguilar Villalón, Decano de la Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas, Puebla.

ANFEI DIGITAL, Año 3, No. 3, junio de 2015, es una publicación anual editada y distribuida por la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería A.C. (ANFEI). Domicilio: Palacio de Minería, Tacuba No. 5, Col. Centro, Delegación Cuauhtémoc, México, Distrito Federal, C.P. 06000. www.anfei.org.mx Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2014-0411181-30001-243, ISSN: 2007-1880, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Editor: Ing. Juan José Echeverría Rojas, coordinador.editorial@anfei.org.mx. Responsable de la elaboración de este número: Lic. Mario Ismael Arroyo Pérez, afusion@anfei.org.mx. Domicilio: Palacio de Minería, Tacuba No. 5, Col. Centro, Delegación Cuauhtémoc, México, Distrito Federal, C.P. 06000. Tel: 5512-2231 y 21. Fecha de creación: 27 de mayo de 2015. Se editaron 700 ejemplares. Medio electrónico: CD-ROM. Formato del archivo: PDF. Tamaño del archivo: 38.1 MB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.
D.R. ANFEI. Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes sin previa autorización de la Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Ingeniería A.C. (ANFEI).

Instituto Tecnológico de Zacatepec

atría



¿PUEDEN LAS HABILIDADES DE INVESTIGACIÓN INFLUIR EN LA ACREDITACIÓN DE UNA CARRERA DE INGENIERÍA?

O.C. Benítez Centeno¹
M.G. Vargas Vega²
J.E. Ruiz Ramírez³

"Patría"

RESUMEN

Uno de los indicadores que influye en la acreditación de una carrera de ingeniería ante el Consejo de Acreditación de la Educación en Ingeniería CACEI, es la Investigación. En los últimos tres años se desarrollaron diversos proyectos de Ciencia Básica y Aplicada por profesores y estudiantes de licenciatura de Ingeniería Electromecánica. Los resultados de los proyectos se presentaron en diversos congresos, foros, talleres y fueron publicados en revistas científicas y técnicas. En este trabajo se muestran las estrategias en la categoría de Investigación para cubrir los requerimientos básicos para la acreditación.

ANTECEDENTES

La licenciatura de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Zacatepec tiene 30 años de antigüedad. Han egresado 50 generaciones que laboran en el sector público y privado del país. Actualmente cursan la licenciatura 651 estudiantes siendo el 4% del género femenino. La planta académica del programa está integrada por 27 profesores. Trece de ellos con estudios de posgrado (maestría y doctorado). La carrera de Ingeniería fue acreditada en febrero de 2010 por Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería CACEI con una vigencia de cinco años. En la primera etapa de análisis del programa las observaciones de este organismo fue atender en forma oportuna las recomendaciones más relevantes. Además a la mitad de la vigencia de acreditación se solicitó un informe sobre las acciones tomadas al respecto. Los requisitos a cubrir sugeridos por CACEI en la categoría de Investigación fue fortalecer al menos dos líneas de investigación y tomar las medidas pertinentes para incrementar la participación de profesores y alumnos en proyectos de investigación y/o desarrollo tecnológico vinculados a ellas. Estas medidas se reportaron por Benítez Centeno, Martínez Mata y Moreno Carpintero (2012). Se contaba con dos líneas de investigación: Termofluidos registrada en Dirección General de Estudios Tecnológicos, DGEST con vigencia de 2011 a 2014. Además se encontraba en gestación la línea de Automatización y Controles Eléctricos. En ambas participaban doce catedráticos.

El título del presente trabajo surge de las acciones realizadas durante los últimos tres años en el rubro de Investigación. La influencia de las actividades en las líneas de investigación y la dinámica de participación y compromiso de profesores y alumnos con el principal propósito de cumplir los objetivos de cada proyecto.

METODOLOGÍA

Se analizaron las diversas actividades que comprenden la categoría de Investigación: Proyectos y desarrollo tecnológicos con y sin financiamiento, Formación de Recursos Humanos, Divulgación y Difusión de resultados, Colaboración con otros grupos de investigación en el país, Patentes y Derechos de Autor en el periodo comprendido 2012 a 2014. El informe de término medio entregado al Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, (CACEI) permitió comparar los avances en cada uno de estos rubros.

1 Jefe del Departamento de Metalmeccánica, Instituto Tecnológico de Zacatepec, obec@itzacatepec.edu.mx.

2 Catedrática del Departamento de Metalmeccánica, Instituto Tecnológico de Zacatepec, minerva.v@itzacatepec.edu.mx.

3 Catedrático del Departamento de Metalmeccánica, Instituto Tecnológico de Zacatepec, jose.ru@itzacatepec.edu.mx.





EDUCACIÓN



TECNOLÓGICO
DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC

atepec

Otorga la presente

Constancia

a

D. E. Martínez Lagunas, O. Cázares Candia, O. C. Benítez Centeno

Por la presentación oral del trabajo:

**SIMULACIÓN DE LA COMBUSTIÓN IN-SITU EN MEDIOS POROSOS
CONSIDERANDO LA EXPANSIÓN TÉRMICA DE LOS FLUÍDOS Y LA
ROCA**

En el Congreso Internacional en Tecnología, Innovación y Docencia

(CITID 2015)

Celebrado del 20 al 24 de Abril del 2015

Zacatepec, México 22 de Abril del 2015

ING. ROBERTO ORTIZ DELGADILLO
DIRECTOR DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC





EDUCACIÓN



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC

Zacatepec

Otorga la presente
Constancia

a

D. Montes Barrios, O. Cázares Candia, O. C. Benítez Centeno

Por la presentación oral del trabajo:

SIMULACIÓN DE LA COMBUSTIÓN IN-SITU EN MEDIOS POROSOS CARBONATADOS CONSIDERANDO LA GENERACIÓN DE CO₂

En el Congreso Internacional en Tecnología, Innovación y Docencia
(CITID 2015)

Celebrado del 20 al 24 de Abril del 2015

Zacatepec, Mor., a 21 de Abril del 2015

ING. ROBERTO ORTIZ DELGADILLO
DIRECTOR DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC





EDUCACIÓN



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC

zacatepec

Otorga la presente

Constancia

a

R. Díaz De León, J. R. Hernández Pérez, O. Cázares Candia, O.C. Benítez Centeno

Por la presentación oral del trabajo:

EVALUACIÓN DE LOS MODELOS DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN UN POZO INYECTOR DE VAPOR

En el Congreso Internacional en Tecnología, Innovación y Docencia (CITID 2015)

Celebrado del 20 al 24 de Abril del 2015

Zacatepec, Mor. a 23 de Abril del 2015

ING. ROBERTO ORTIZ DELGADILLO
DIRECTOR DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC





XXIV International Materials Research Congress 2015
XIV NACE Mexico Central Section Congress

DIPLOMA

To: *Enrique de Jesús Moreno Carpintero, José Gonzalo González Rodríguez, Jorge Uruchurtu Chavarín, Estela Sarmiento Bustos, Ángel Itatelpa Becerro, Omar Christian Benitez Centeno, Erika Darnely Rojas Ayala*

For presenting the paper:

**EVALUACIÓN DE CORROSIÓN EN UNA SOLUCIÓN MICROALEADO
 BIOETANOL ACERO USO TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS**

Within the 6J NACE Symposium. Corrosion and Metalurgy, in the XXIV International
 Materials Research Congress 2015
 August 17-21 de 2015, Cancún, Quintana Roo, México.

Dr. Jorge Cantó Ibáñez
 Chairman, Symposium 6J
 President, NACE Mexico

Dr. Jose G. Chacón-Nava
 Trustee
 NACE México



LÍNEA 2: MODELADO Y SIMULACIÓN DE PROCESOS

TESIS

atepec

A continuación, se muestra la tabla-resumen de las Tesis dirigidas que los integrantes de la LGAC de Ingeniería han realizado:

TESIS	
Omar Christian Benítez Centeno	“Análisis térmico de una ventana de vidrio doble para un clima cálido de México” Nivel: Licenciatura Estatus: Terminada Año: junio 2018
Omar Christian Benítez Centeno	“Soluciones analíticas para distintas cavidades geométricas en la dinámica de fluidos conductores y plasmas fríos” Nivel: Licenciatura Estatus: Terminada Junio 2018
Omar Christian Benítez Centeno	“Análisis teórico experimental de intercambiadores de calor no convencionales a presiones bajas” Nivel: Licenciatura Estatus: Terminada Año: septiembre 2017

A continuación se muestran los documentos comprobatorios



EDUCACIÓN



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

SEP INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC **006**

ACTA DE EXAMEN PROFESIONAL

En la ciudad de Zacatepec, Morelos, a los 01 días del mes de SEPTIEMBRE de 2017, siendo las 11:00 horas, se reunió en LA SALA C9 del Instituto Tecnológico de Zacatepec, clave: 17DT00001 el jurado integrado por:

Presidencia: DOCTOR EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECÁNICA
OMAR CHRISTIAN BENÍTEZ CENTENO 4672098

Secretaría: DOCTORA EN INGENIERÍA MINERVA GUADALUPE
YARGAS VEGA 4681930

Vocal: INGENIERO MECÁNICO MANUEL SALGADO
RODRIGUEZ 1727884

Y de acuerdo con las disposiciones reglamentarias en vigor y la opción seleccionada: 1 (TESIS PROFESIONAL) se procedió a efectuar el Acto de Recepción Profesional a el (a) C. EDGAR PEÑA SEGURA número de control 09090799 egresado (a) del Instituto Tecnológico de ZACATEPEC presente de la carrera de INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA El (a) jurado, tomando en cuenta el contenido del Trabajo Profesional cuyo tema es: "ANÁLISIS TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE INTERCAMBIADORES DE CALOR NO CONVENCIONALES A PRESIONES BAJAS" Y la rúbrica del mismo, dictaminó que tuvo APROBADO

El (a) Presidente (a) del Jurado le hizo saber a el (a) sustentante el resultado obtenido, el Código de Ética Profesional y le tomó la Promesa de Ley. Cúyose por formalizado el Acto a las _____ horas, y esta vez revista, leída y aprobada fue firmada para constancia por las personas que en el acto intervinieron, para los efectos legales a que haya lugar en el presente.

PRESIDENTE (A)
[Firma]
DR. OMAR CHRISTIAN BENÍTEZ CENTENO
Ced. Prof. 4672098

SECRETARÍA (A)
[Firma]
DR. MINERVA GUADALUPE YARGAS VEGA
Ced. Prof. 4681930

VOCAL
[Firma]
ING. MANUEL SALGADO RODRIGUEZ
Ced. Prof. 1727884

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
DIRECCIÓN DE ASUNTOS ESCOLARES Y APOYO A ESTUDIANTES





EDUCACIÓN



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

Instituto Tecnológico de Zacatepec

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC

124

CONSTANCIA DE EXENCIÓN DE EXAMEN PROFESIONAL

De acuerdo con el instructivo vigente de Titulación, que no tiene como requisito la sustentación del Examen Profesional para efecto de obtención de Título, en las opciones VIII, IX y Titulación Integral, el jurado HACEN CONSTAR que el (la) C. JOSÉ MANUEL OLVERA OROZCO con número de control 13090309 egresado (a) del Instituto Tecnológico de Zacatepec clave 17DIT0009T, que cursó la carrera de: INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

Cumplió satisfactoriamente con lo estipulado en la opción: TITULACIÓN INTEGRAL (TESIS) - SOLUCIONES ANALÍTICAS PARA DISTINTAS CAVIDADES GEOMÉTRICAS EN LA DINÁMICA DE FLUIDOS CONDUCTORES Y PLASMAS FRÍOS.

El (la) Presidente (a) del Jurado le hizo saber al sustentante el Código de Ética Profesional y le tomó la Protesta de Ley, una vez escrita y leída la firmaron las personas que en el acto protocolario intervinieron, para los efectos legales a que haya lugar, se asienta la presente en la Ciudad de ZACATEPEC MORELOS el día 29 del mes de JULIO del año 20 18.

PRESIDENTE (A)
[Signature]
DR. CHAR CHRISTIAN BENITEZ CENTENO
Cédula Profesional 4022098

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO
DIRECCIÓN DE ASUNTOS ESCOLARES Y APOYO A ESTUDIANTES

SECRETARIO (A)
[Signature]
DR. MARIEVA GUDALUPE VARELA VEGA
Cédula Profesional 4681930

VOGAL
[Signature]
DR. ALDO FIGUEROA LARA
Cédula Profesional 7574537





SEP SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC 122

CONSTANCIA DE EXENCIÓN DE EXAMEN PROFESIONAL

De acuerdo con el instructivo vigente de Titulación, que no tiene como requisito la sustentación del Examen Profesional para efecto de obtención de Título, en las opciones VIII, IX y Titulación Integral, el jurado HACEN CONSTAR que el (la) C. SAMANTA LÓPEZ SALAZAR con número de control 13090494 egresado (a) del Instituto Tecnológico de Zacatepec, clave 17DIT0009T, que cursó la carrera de: INGENIERIA ELECTROMECÁNICA

Cumplió satisfactoriamente con lo estipulado en la opción: TITULACIÓN INTEGRAL (TESIS) "ANÁLISIS TÉRMICO DE UNA VENTANA DE VIDRIO DOBLE PARA UN CLIMA CÁLIDO DE MÉXICO"

El (la) Presidente (a) del Jurado le hizo saber al sustentante el Código de Ética Profesional y le tomó la Protesta de Ley, una vez escrita y leída la firmaron las personas que en el acto protocolario intervinieron, para los efectos legales a que haya lugar, se asienta la presente en la Ciudad de ZACATEPEC, MORELOS, el día 07 del mes de JUNIO del año 2018.

PRESIDENTE (A)
DR. OMAR CRISTIAN BENITEZ CENTENO
Cédula Profesional: 4612098

SECRETARIO (A)
M. C. ROSEMBERDUAÑO CASTELLAR
Cédula Profesional: 2747259

M. C. ROSALBA GUADALUPE VARGÁS VEGA
Cédula Profesional: 4681330

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
DIRECCIÓN DE ASUNTOS ESCOLARES Y APUNTO A ESTUDIOS





El TecNM/ITZ firmó un convenio de transferencia de tecnología con México UNE a través de una patente de autoconstrucción comunitaria sismo resistente y sustentable, la cual fue desarrollada dentro de las instalaciones del instituto por docentes de la carrera de Ingeniería Civil.

A continuación, se muestra evidencia del convenio con México UME:

CONVENIO DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA QUE CELEBRAN POR UNA PARTE EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC, EN LO SUCESIVO EL "INSTITUTO", REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR EL ING. ROBERTO ORTIZ DELGADILLO, EN SU CARÁCTER DE DIRECTOR, Y POR LA OTRA, INVESTIGACIÓN Y SOLUCIONES SOCIOAMBIENTALES A.C., EN LO SUCESIVO LA "ASOCIACIÓN", REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR EL C. EDUARDO MARTÍNEZ ROMERO, AL TENOR DE LOS ANTECEDENTES, DECLARACIONES Y CLÁUSULAS SIGUIENTES:

DECLARACIONES

I. Del "INSTITUTO":

I.1. Que es un plantel educativo, adscrito al Tecnológico Nacional de México, de conformidad con el artículo 1º, párrafo segundo, del Decreto que crea el Tecnológico Nacional de México, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 23 de julio de 2014, por el que la Secretaría de Educación Pública ha venido impartiendo la educación superior y la investigación científica y tecnológica.

I.2. Que en su carácter de plantel educativo adscrito al Tecnológico Nacional de México, participa en la prestación, desarrollo, coordinación y orientación de los servicios de educación superior tecnológica, en los niveles de técnico superior universitario, licenciatura y posgrado, en las modalidades escolarizada, no escolarizada a distancia y mixta; así como de educación continua y otras formas de educación que determine el Tecnológico Nacional de México, con sujeción a los principios de laicidad, gratuidad y de conformidad con los fines y criterios establecidos en el artículo 3º, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, según lo establecido en el artículo 2º, fracción I, del Decreto que crea el Tecnológico Nacional de México, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 23 de julio de 2014.

I.3. Que en cumplimiento del objeto del Tecnológico Nacional de México, forma profesionales e investigadores aptos para la aplicación y generación de conocimientos que les proporcionen las habilidades para la solución de problemas, con pensamiento crítico, sentido ético, actitudes emprendedoras, de innovación y capacidad creativa para la incorporación de los avances científicos y tecnológicos que contribuyan al desarrollo nacional y regional, de conformidad con el artículo 2º, fracción II, del Decreto que crea el Tecnológico Nacional de México, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 23 de julio de 2014.

I.4. Que tiene como misión "Ser una Institución educativa de excelencia académica, tecnológica y humana, comprometida permanentemente con el desarrollo sostenido, sustentable y equitativo de la sociedad".

I.5. Que el artículo 8º, fracción II, del Decreto que crea el Tecnológico Nacional de México, publicado en la fecha y en el órgano informativo referido en las declaraciones precedentes, se establece que el Director General del Tecnológico Nacional de México, puede delegar su facultad para celebrar convenios, bases de coordinación, acuerdos institucionales y toda clase



Research Article

Biodiesel from “Morelos” Rice: Synthesis, Oxidative Stability, and Corrosivity

J. Zuñiga-Díaz,^{1,2} E. Reyes-Dorantes,^{1,2} A. Quinto-Hernandez ¹, J. Porcayo-Calderon ^{2,3},
J. G. Gonzalez-Rodriguez,³ and L. Martinez-Gomez ^{2,4}

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Instituto Tecnológico 27, 62780 Zacatepec, MOR, Mexico

²Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Universidad s/n, 62210 Cuernavaca, MOR, Mexico

³CIICAp, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Avenida Universidad 1001, 62209 Cuernavaca, MOR, Mexico

⁴Corrosion y Protección (CyP), Buffon 46, 11590 Mexico City, Mexico

Correspondence should be addressed to J. Porcayo-Calderon; jporcayoc@gmail.com

Received 12 September 2017; Revised 9 December 2017; Accepted 26 December 2017; Published 31 January 2018

Academic Editor: Tingyue Gu

Copyright © 2018 J. Zuñiga-Díaz et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Rice bran is a by-product of great production worldwide and its use for the synthesis of biodiesel does not affect the food chain and therefore it is an excellent alternative for the production of biofuels with low carbon footprint. In this work, the synthesis of biodiesel was carried out from the raw rice bran oil of a kernel variety called “Morelos rice.” The stability and corrosivity characteristics of biodiesel were determined. Biodiesel stability was determined both under storage conditions and under accelerated oxidation conditions, and its corrosivity was evaluated by electrochemical impedance spectroscopy at 110°C under aerated conditions. The results showed that, due to the high instability of the rice bran, its raw oil had a high content of free fatty acids. The synthesized biodiesel showed excellent stability under storage conditions of up to five months, and its oxidative stability was much higher than that established in international standards. On the other hand, biodiesel showed low corrosivity and this was only significant once oxidative degradation began.

1. Introduction

The environmental impact caused by the use of fossil fuels has motivated the need to search for other sustainable sources of energy. In this sense, biofuels such as biodiesel are an interesting alternative to partially or totally replace the consumption of mineral diesel. Vegetable oils are the main raw material for biodiesel production, and they are a renewable and environmentally friendly source that helps reduce the CO₂ emissions; this is because the plants from which the oil is obtained use the anthropogenic CO₂ for their growth [1–3].

The term biodiesel has been used to define the monoalkyl esters of long chain fatty acids derived from renewable lipids such as vegetable oils or animal fats [4], which are nontoxic and biodegradable, contain oxygen in their molecules, and are free of sulfur and carcinogenic compounds; therefore,

biodiesel is a cleaner fuel than gasoline and diesel [5]. The energy extracted during the biodiesel combustion actually comes from the sun through the photosynthetic activities of the plants. Plants are one of the biotic forms with the shortest time of fixation of anthropogenic CO₂, so the use of biodiesel reduces the emissions of greenhouse gases [6, 7].

There is a strong controversy both in the use of edible oils and in the cultivation of nonedible oil sources in order to synthesize biodiesel. Current efforts should be directed to those sources of vegetable oil that do not affect, directly or indirectly, the food chain. In addition, the cost of edible oils as a raw material for biodiesel synthesis represents a high percentage (up to 50%) of the overall synthesis process [6, 8, 9]. Therefore, the current vision should focus on the use of agricultural by-products or agroindustrial waste that does not affect the food chain. A clear example is the use of rice bran. Rice bran is a by-product of the paddy grain

Research Article

Electrophoretic Deposition of Chitosan Films Doped with $\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ Nanoparticles as Protective Coatings against Corrosion in Saline Solutions

M. Martinez-Gomez,^{1,2} A. Quinto-Hernandez ,² N. S. Flores-Garcia,¹ Jan Mayén,³ M. Dominguez-Diaz,¹ H. Martinez,¹ J. Porcayo-Calderon ,⁴ J. G. Gonzalez-Rodriguez,⁴ and L. Martinez-Gomez ^{1,5}

¹Instituto de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Universidad s/n, 62210 Cuernavaca, MOR, Mexico

²Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Instituto Tecnológico 27, 62780 Zacatepec, MOR, Mexico

³CIATEQ A.C., Eje 126 No. 225, Zona Industrial, San Luis Potosí, SLP C.P. 78395, Mexico

⁴CIICAp, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Avenida Universidad 1001, 62209 Cuernavaca, MOR, Mexico

⁵Corrosion y Protección (CyP), Buffon 46, 11590 Mexico City, Mexico

Correspondence should be addressed to J. Porcayo-Calderon; jporcayoc@gmail.com

Received 24 August 2018; Revised 8 December 2018; Accepted 9 January 2019; Published 17 March 2019

Academic Editor: Marta Fernández-García

Copyright © 2019 M. Martinez-Gomez et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In this study, the electrophoretic deposition of chitosan films doped with $\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ nanoparticles was carried out as corrosion protection systems for exposed materials in aqueous environments rich in chlorides. Completely crystalline $\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ nanoparticles with an average size of 100-200 nm were obtained. Electrophoretic deposition of chitosan films with $\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ nanoparticles was possible. With a working voltage of 5 V and 20 minutes of deposition, homogenous chitosan films with a thickness of 4 microns were obtained. According to the FT-IR (Fourier transform infrared spectroscopy), Raman, and XRD (X-ray diffraction) analyses, it was observed that the presence of the nanoparticles modified the properties of the chitosan films, that is, their crystallinity was increased and their moisture absorption capacity was reduced. These modifications caused a better performance against the corrosion of chitosan films deposited on 1018 carbon steel. Its electrochemical evaluation showed that the chitosan films perform as cathodic coatings by affecting the oxygen reduction reaction. This was possible due to the barrier effect of the $\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ nanoparticles, by blocking the effective area for the diffusion of the aggressive electrolyte species.

1. Introduction

It is known that the main objective of organic coatings as protective systems against corrosion is to prevent or mitigate the attack of the substrate by the aggressive anions present in the electrolyte [1, 2]. Due to this, the integrity of the coating used as a protective system against corrosion is fundamental. One way to achieve this goal is to strengthen the structure of the protective film by using healing agents, crosslinking agents, and incorporation of corrosion inhibitors or inert particles that block the diffusion of aggressive

anions and also improve the adhesion of the coating towards the substrate [1–11].

Today, protective systems based on environmentally friendly coatings have found great interest in the scientific community. In this sense, due to its excellent properties such as biocompatibility, antimicrobial activity, biodegradability, and its ability to form stable films, chitosan emerges as an alternative for both the formulation and development of protective films that reduce the degradation of materials [4, 5]. In general, chitosan is the result of the deacetylation of chitin and is a compound of low toxicity and is biodegradable and

The collision-free photochemistry of methyl azide at 157 nm: Mechanism and energy release

Alfredo Quinto-Hernandez, , Shih-Huang Lee, and , and Alec M. Wodtke

Citation: *The Journal of Chemical Physics* **147**, 064307 (2017); doi: 10.1063/1.4997783

View online: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4997783>

View Table of Contents: <http://aip.scitation.org/toc/jcp/147/6>

Published by the [American Institute of Physics](#)

Articles you may be interested in

[Coupled electron-nuclear quantum dynamics through and around a conical intersection](#)

The Journal of Chemical Physics **147**, 064302 (2017); 10.1063/1.4989780

[Binding energies of hydrated cobalt hydroxide ion complexes: A guided ion beam and theoretical investigation](#)

The Journal of Chemical Physics **147**, 064305 (2017); 10.1063/1.4991557

[Precision measurement of electron affinity of Zr and fine structures of its negative ions](#)

The Journal of Chemical Physics **147**, 064306 (2017); 10.1063/1.4986547

[Projected coupled cluster theory](#)

The Journal of Chemical Physics **147**, 064111 (2017); 10.1063/1.4991020

[Direct measurement of site-specific rates of reactions of H with C₃H₈, i-C₄H₁₀, and n-C₄H₁₀](#)

The Journal of Chemical Physics **147**, 064304 (2017); 10.1063/1.4997739

[Tunneling lifetimes of electrons escaping from atoms under a static electric field](#)

The Journal of Chemical Physics **147**, 064109 (2017); 10.1063/1.4994937



**COMPLETELY
REDESIGNED!**

**PHYSICS
TODAY**

Physics Today Buyer's Guide
Search with a purpose.

The collision-free photochemistry of methyl azide at 157 nm: Mechanism and energy release

Alfredo Quinto-Hernandez,^{1,a)} Shih-Huang Lee,² and Alec M. Wodtke^{3,4}

¹National Institute of Technology of Mexico, Calzada Tecnológico 27, Zacatepec, Morelos 62780, Mexico

²National Synchrotron Radiation Research Center, 101 Hsin-Ann Road, Hsinchu Science Park, Hsinchu 30076, Taiwan

³Institut für Physikalische Chemie, Universität Göttingen, Tammannstrasse 6, D-37077 Göttingen, Germany

⁴Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie, Karl Friedrich-Bonhoeffer-Institut, Am Fassberg 11, 37077 Göttingen, Germany

(Received 20 May 2017; accepted 26 July 2017; published online 11 August 2017)

Synchrotron radiation VUV-photoionization based photofragment translational spectroscopy was used to identify the primary and secondary photodissociation reactions of methyl azide (CH_3N_3) at 157 nm under collision-free conditions. Two primary dissociation channels are identified, leading to $\text{CH}_3 + \text{N}_3$ (the radical channel) and $\text{CH}_3\text{N} + \text{N}_2$ (the molecular elimination channel). The last channel is the major dissociation pathway, but unlike work at longer photolysis wavelengths, here, the radical channel exclusively produces the higher energy isomer cyclic- N_3 . Product time-of-flight data for both channels were obtained and compared with earlier work on methyl azide photochemistry at 193 nm based on electron impact ionization, allowing us to estimate a product branching ratio

$$\frac{\Phi_{\text{CH}_3-\text{N}_3}}{\Phi_{\text{CH}_3\text{N}-\text{N}_2}} = \frac{2.3\% \pm 0.6\%}{97.7\% \pm 0.6\%}. \text{ Published by AIP Publishing. [http://dx.doi.org/10.1063/1.4997783]}$$

INTRODUCTION

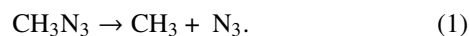
The surprising discovery of cyclic- N_3 formation in the UV photochemistry of simple azides^{1,2} provides motivation to extend our understanding of azide photochemistry. Interest in cyclic- N_3 derives from the fact that observations of cyclic N-allotropes^{3,4} are so rare. Moreover, new poly-nitrogen molecules might be produced using cyclic- N_3 as a precursor; for example, the formation of $\text{T}_d\text{-N}_4$, tetra-azatetrahedrane^{5,6} is expected to occur when $\text{N}(^2\text{D})$ reacts in the presence of cyclic- N_3 in a barrierless exothermic recombination reaction. Due to their metastability, these poly-Nitrogen molecules may decompose into environmentally clean N_2 with large exoergicity.^{7,8} Hence, they are considered a novel class of high energy density materials (HEDM).⁵ Cyclic- N_3 also offers the opportunity to study the effect of the geometric phase on the molecular dynamics.^{8,9} High resolution IR spectra would be a remarkable test of theoretical methods in the vicinity of conical intersections.

The first experimental report of cyclic- N_3 was obtained from studies of the photodissociation dynamics of chlorine azide (ClN_3) near 235 nm using the velocity map imaging (VMI) technique.¹ This observation stimulated other investigations on ClN_3 , including photofragment translational spectroscopy (PTS) experiments based on electron impact ionization (EI)^{2,10,11} and synchrotron radiation VUV-photoionization^{12,13} as well as extending the range of photolysis wavelengths (234–280 nm) used in additional VMI studies.¹⁴ All these experiments were consistent with the

theoretical work^{9,15} and revealed that cyclic- N_3 is a primary (collision free) product in the UV photochemistry of ClN_3 . Other photochemical precursors to cyclic- N_3 have also been found. Rydberg H-atom time-of-flight studies of hydrazoic acid (HN_3) photolysis suggest cyclic- N_3 formation,^{16,17} and clear evidence is found in the near threshold VUV photoionization-based PTS measurements on methyl azide (CH_3N_3) photodissociation at 193 nm.¹⁸ A complete review is available.¹⁹

Due to both its energetics and dynamics, methyl azide is a potentially interesting precursor for cyclic- N_3 . Cyclic- N_3 lies at about 30 kcal/mol higher in energy than the better known linear azide radical and exists behind modest barriers to dissociation (33 kcal/mol) and linearization (32 kcal/mol).⁹ In any photochemical precursor, higher photolysis energy is needed to produce cyclic- N_3 , while its dissociation and linearization energies are rather low. The high C–N bond energy in methylazide in comparison to the Cl–N bond energy in chlorine azide leads to lower internal energies in the azide photofragments produced by methylazide photolysis. Furthermore, in contrast to Cl, CH_3 has the potential to carry away excess energy as internal energy, potentially stabilizing the fragile cyclic product. It is with these ideas in mind that we began work on methyl azide photochemistry.

Previous work shows that there are two primary photodissociation channels in methyl azide photochemistry,



where reaction (1) is commonly referred to as the radical channel and reaction (2) as the molecular elimination channel.

^{a)} Author to whom correspondence should be addressed: alfredo.qh@itzacatepec.edu.mx