revista politécnica

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ISSN: 1390-0129
eISSN: 2477-8990
Volumen 40, No. 1 · Octubre 2017

revista politécnica

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ISSN: 1390-0129
eISSN: 2477-8990

Volumen 40, No. 1 · Octubre 2017

TEMÁTICA Y ALCANCE

La Revista Politécnica es una publicación periódica semestral, editada por la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, cuyo objetivo es contribuir al conocimiento científico y tecnológico, mediante la publicación de estudios científicos relacionados a las áreas de ciencias básicas (física, química y matemática) e ingenierías (agroindustria, ambiental, civil, eléctrica, electrónica, geología, mecánica, petróleos, sistemas y química). La Revista Politécnica está dirigida a profesionales e investigadores que trabajan en estos campos del conocimiento.

EDITOR

Juan Carlos De los Reyes, Ph.D.
Escuela Politécnica Nacional
editor.rp@epn.edu.ec

CO-EDITORA

Silvana Ivonne Hidalgo Trujillo, Ph.D.
Escuela Politécnica Nacional
coeditor.rp@epn.edu.ec

CONSEJO EDITORIAL

Enio Da Silveira, Ph.D.
Universidad Católica de Río, Brasil.

Carlos Smith, Ph.D.
University of South Florida, Estados Unidos

Gyimah-Brempong Kwabena, Ph.D.
University of South Florida, Estados Unidos

Raymundo Forradelas, Ph.D.
Universidad Nacional del Cuyo, Argentina

Ricardo Carelli, Ph.D.
Universidad Nacional de San Juan, Argentina.

Vanderlei Bagnato, Ph.D.
Universidad de Sao Paulo, Brasil.

Rui Pedro Pinto de Carvalho, Ph.D.
University of Coimbra, Portugal

Vicenzo Vespri, Ph.D.
Università degli studi di Firenze, Italia

Oscar Ortiz, Ph.D.
Universidad Nacional de San Juan, Argentina

Gustavo Scaglia, Ph.D.
Universidad Nacional de San Juan, Argentina

Chen Ning, Ph.D.
Universidad de Mineralogía y Tecnología de China, China.

Alex Ruiz Torres, Ph.D.
Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico.

Lizandro Solano, Ph.D.
Universidad de Cuenca, Ecuador

Romel Montufar, Ph.D.
Pontificia Universidad Católica, Ecuador

Marcos Villacís, Ph.D.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Andrés Rosales, Ph.D.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Danilo Chávez, Ph.D.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

Oscar Camacho, Ph.D.
Universidad de Los Andes, Venezuela

Carlos Ávila, Ph.D.
Escuela Politécnica Nacional, Ecuador

La Revista Politécnica está incluida en Latindex, catálogo y directorio: Sistema Regional de información en línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.

Se autoriza la reproducción total o parcial de su contenido siempre y cuando se cite la fuente. Los conceptos expresados son de responsabilidad exclusiva de sus autores.

Coordinador Técnico Operativo
Ing. Javier Páez G.
javier.paez@epn.edu.ec
Teléfono: (+593) 2976300 ext. 5220

Comisión de Apoyo Editorial
Ing. Javier Páez G.
Ing. María Velasteguí R.
Lic. Michelle Molina M.

Diseño de Portada
Sr. Diego Flores

AUTORIDADES
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Vicerrector de Investigación y Proyección
Alberto Celi, Ph.D.

Rector
Jaime Calderón, MBA

Vicerrector de Docencia
Tarquino Sánchez, MBA

PALABRAS DE LA CO-EDITORA

Esta nueva edición de la Revista Politécnica nos muestra nuevamente una serie de investigaciones nacionales sobre diversos temas. Así, veremos artículos relacionados con la tecnología de alimentos, detección de pesticidas, investigaciones relacionadas al ámbito de la explotación de petróleo, evaluación de la vulnerabilidad en construcciones, estudios estadísticos sobre circulación en carreteras, empleo de nuevos métodos para tener datos semicontinuos de temperatura del suelo y estudios sobre el comportamiento de motores. Estas contribuciones variadas y de amplio alcance son ricas en su contenido técnico y poseen una aplicación potencial en sus ámbitos correspondientes.

Empezamos con el artículo de Morales y Santacruz, dedicado a la investigación del uso de películas comestibles para reducir el contenido de grasa en la malanga frita. Este artículo hace una serie de pruebas y análisis que confirman la utilidad de las películas comestibles, con el fin de mejorar la calidad de la alimentación, especialmente, en cuanto a la absorción de grasas de fritura sin que se pierda el sabor del alimento. Esta investigación aplicada a un tubérculo poco explotado como la malanga, podría tener una amplia aplicación a otros alimentos de consumo regular, propendiendo una alimentación más sana.

Ordoñez Araque y Barat, en la segunda contribución, presentan los resultados de un estudio que pretende determinar si es posible enmascarar el olor característico del ajo con el fin de ampliar el uso de este alimento que presenta propiedades benéficas para la salud. Con este fin, desarrollan sistemas de encapsulado que permiten retener los olores y analizan su funcionalidad mediante sistemas olfativos artificiales.

El siguiente estudio propuesto por Mendieta y colaboradores, trata sobre un tema fundamental en la actualidad: la detección de pesticidas organoclorados en los productos agrícolas de consumo humano. Con este fin, desarrollan un método de detección de 24 pesticidas de este tipo, a través de cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas. El método es eficiente, ya que los 24 pesticidas pueden ser identificados en usa sola corrida, lo que reduce significativamente el tiempo de análisis. Es evidente la necesidad del uso de estos métodos de control de los alimentos agrícolas destinados al consumo humano, para garantizar su calidad y prevenir las nefastas consecuencias de la ingesta de pesticidas en nuestro país.

David Almeida, nos presenta un estudio dedicado a mejorar las condiciones de explotación del petróleo, especialmente, en las fases de perforación, mediante la estabilización química y mecánica de las formaciones rocosas que se perforan para la extracción del hidrocarburo. En este caso, se hace el estudio específico para la Lutita Orteguaza, una de las formaciones geológicas de la cuenca oriente del Ecuador. En este trabajo, se analizan las causas de la inestabilidad de esta roca usando varios métodos analíticos y, adicionalmente, se da una solución para limitar su inestabilidad y evitar los problemas asociados durante la perforación y entubado de los pozos.

Medina y Placencia, tratan un tema de importancia y actualidad relacionado a la reducción de la vulnerabilidad de estructuras esenciales de hormigón armado ubicadas en zonas de peligro sísmico. Estudian, en particular, la influencia de la mampostería de relleno y se analizan las patologías más dañinas asociadas a la interacción pórtico mampostería. También, se proponen cambios de diseño que permitan minimizar los efectos negativos de la mampostería y cumplir con los requerimientos y desempeño expuestos en la norma de construcción. Un estudio sumamente interesante y necesario en un país como el nuestro dónde el peligro sísmico es elevado.

García Ramírez y colaboradores, nos presentan el tipo de estudio a realizarse en las carreteras, con el fin de establecer las velocidades de circulación óptimas para generar seguridad vial. Morocho y colabores presentan en la siguiente contribución, los resultados de las mediciones de temperatura del suelo sin perturbar en Guayaquil, Ecuador. Además, presentan un análisis de estas mediciones y su aplicación en investigaciones futuras, especialmente, en cuanto al diseño de perforaciones para intercambio de calor para el acomodamiento térmico de espacios.

Finalmente, Rivera y colaboradores nos hablan del comportamiento de un motor de ciclo Otto de inyección electrónica, respecto de la estequiometria de la mezcla y del adelanto al encendido para la ciudad de Cuenca, Ecuador. Se analizan las diferentes condiciones de funcionamiento de estos motores y, en base a optimización, se consigue mejorar las prestaciones y reducir la emisión de contaminantes.

Esperamos que el contenido de este volumen sea de interés para los lectores de la Revista Politécnica.

Silvana Ivonne Hidalgo Trujillo, Ph.D.

CO-EDITORA

CONTENIDO
Vol. 40, No. 1
AGOSTO – OCTUBRE 2017

7
Morales Vanessa, Santacruz Stalin
Uso de películas comestibles a base de carboximetilcelulosa y goma xantana para la disminución de absorción de grasa de malanga frita (Xanthosoma sagittifolium)
Utilisation of edible films based on carboxymethylcellulose and xanthan gum to reduce fat uptake in a deep-fried Malanga (Xanthosoma sagittifolium)

13
Ordoñez Araque, Roberto; Barat, José Manuel
Evaluación de un Sistema de Enmascaramiento de Olor de Muestras de Ajo, Mediante un Sistema de Nariz Electrónica
Evaluation of a Masking System for Garlic odors, through a System of an Electronic Nose

21
Mendieta, Claudia J., Ortega, Nicole A., Solano-Cueva, Natalí., Figueroa, Jorge G.
Metodología para la determinación de pesticidas organoclorados mediante cromatografía de gases acoplado espectrometría de masas y detector de captura de electrones
Development of a method for the quantification of organochlorine pesticides by GC-ECD-MS

29
Almeida, David
Estabilización Química y Mecánica de la Lutita Orteguaza del Campo Tiputini en la Cuenca Oriente
Mechanical and Chemical Stabilization of Orteguaza Shale at Tiputini Field on the Oriente Basin

35
Medina Christian; Placencia Patricio
Reducción de la Vulnerabilidad en Estructuras Esenciales de Hormigón Armado: Hospitales, Situadas en Zonas de Alto Peligro Sísmico en el Ecuador
Vulnerability Reduction in Essential Occupancy Reinforced Concrete Structures: Hospitals, Located in Ecuador's High Seismic Hazard Areas

45
García-Ramírez, Yasmany; Zárate, Belizario; Segarra, Soledad; González, Julio
Variación Diaria y Horaria de la Velocidad de Operación en Carreteras Rurales de Dos Carriles en el Cantón Loja
Daily and Hourly Variation of the Operating Speed in Two-lane Rural Roads in Loja Canton

53
Morocho, Manuel; Villanueva, Rubén; Soriano, Guillermo
Análisis de Mediciones de Temperatura en Suelo sin Perturbar en Guayaquil - Ecuador
Analysis of Temperature Measurements in Non-Disturbed Soil in Guayaquil - Ecuador

59
Rivera, Néstor; Chica, Juan; Zambrano, Iván; García, Cristian
Estudio Del Comportamiento De Un Motor Ciclo Otto De Inyección Electrónica Respecto De La Estequiometría De La Mezcla Y Del Adelanto Al Encendido Para La Ciudad De Cuenca
Study Of The Behavior Of An Otto Engine Of Electronic Injection In Relation To The Stoichiometry Of The Mixture And The Advance To The Ignition For Cuenca City

Uso de Películas Comestibles a Base de Carboximetilcelulosa y Goma Xantana para la Disminución de Absorción de Grasa de Malanga Frita (*Xanthosoma Sagittifolium*)

Morales Vanessa[1], Santacruz Stalin[2]

[1]Universidad San Francisco de Quito. Cumbayá, Diego de Robles y Vía Interoceánica, Quito, Ecuador. P.O. Box 17-1200-841
[2]Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Avenida circunvalación, Manta, Ecuador. P.O. Box 13-05-2732

Resumen: La malanga es un tubérculo poco explotado en el mercado ecuatoriano cuyas características nutricionales podrían ser un aporte importante a la dieta de sus consumidores. En el presente trabajo se estudió la utilización de películas comestibles a base de carboximetilcelulosa (CMC) y goma xantana como tratamiento previo a la fritura de malanga con el objeto de reducir el contenido de grasa en el producto frito. Para ello se trabajó con concentraciones de 0.5 y 1.5 % (w/v) de cada uno de los hidrocoloides con tiempos de inmersión de 0.5 y 1.5 minutos. Las muestras fueron analizadas mediante el contenido de grasa superficial, grasa total y humedad. Los resultados mostraron que el uso de CMC presentó menores contenidos de grasa superficial y grasa total que la goma xantana, con una reducción de la grasa total de 71.53 y 63.39 % para CMC y goma xantana respectivamente en relación al control. Para los dos hidrocoloides, el tratamiento que tuvo los menores contenidos de las variables antes citadas fue el tratamiento con 1.5% de concentración de CMC y 0.5 min de inmersión. El uso de recubrimientos previos a la fritura representa una buena alternativa para la obtención de malanga frita con menor contenido de grasa.

Palabras clave: pretratamientos, alimentos fritos, grasa total, grasa superficial

Utilization of Edible Films Based on Carboxymethylcellulose and Xanthan Gum to Reduce Fat Uptake in a Deep-Fried Malanga (Xanthosoma sagittifolium)

Abstract: Malanga is an underutilised tuber in the Ecuadorian market despite its nutritional characteristics that may be important for the consumers. In the present work the use of edible films based on carboxymethylcellulose (CMC) and xanthan gum as pre-treatment to frying step to reduce the fat content of fried malanga was studied. The concentrations of the hydrocolloid utilised during the study were 0.5 and 1.5 % (w/v) with immersion times of 0.5 and 1.5 min. The fried samples were analysed on the superficial fat content, total fat content and moisture. Results showed that malanga tubers treated with CMC had lower superficial and total fat content than samples treated with xanthan gum. CMC and xanthan gum treatments showed a decrease of total fat content of 71.53 and 63.39 % respectively compared to the control sample (sample with no pre-treatment). The treatment that showed the lowest fat contents corresponded to 1.5% hydrocolloid concentration (CMC or xanthan gum) and 0.5 min immersion time. The use of edible films as an additional and previous step to frying showed to be a good choice to obtain frying malanga tubers with lower fat content.

Keywords: pretreatments, fried foods, total fat, superficial fat

1. INTRODUCCIÓN

El uso de revestimientos y películas por la industria de alimentos ha sido un tema de interés, por su potencial de incrementar la vida útil de varios productos. Las películas comestibles proporcionan varios beneficios de acuerdo al producto. Estas pueden retardar la deshidratación de la superficie, la absorción de humedad, la oxidación de ingredientes, la pérdida de aromas, la absorción de aceite durante la fritura y el envejecimiento y deterioración microbiana de los productos (Quintero, 2010).

Actualmente, los consumidores tienen preferencia por los productos alimenticios que presentan un valor adicional, tal como por ejemplo la presencia de ingredientes funcionales.

stalin.santacruz@gmail.com
Recibido: 31/03/2016
Aceptado: 19/12/2016
Publicado: 31/10/2017

Aunque los productos fritos aún tienen su preferencia en el mercado, el interés por productos bajos en grasa ha aumentado, debido a que la ingesta excesiva de grasa está relacionada con el aumento del colesterol sanguíneo, presión arterial alta y enfermedades cardiacas (Singthong y Chutima, 2009). Con el objetivo de hacer que los productos fritos sean más saludables y atractivos para los consumidores, se ha recurrido al uso de películas comestibles.

La fritura es un proceso de cocción y secado que implica tanto la transferencia de calor como de masa, dando como resultado el flujo en direcciones opuestas de vapor de agua y aceite (Bouchon et al., 2003), existiendo una relación directa entre la absorción de grasa durante la fritura y el contenido de humedad. Las películas comestibles limitan la pérdida de humedad del producto, disminuyendo así la absorción de aceite. La efectividad de una película comestible depende de su composición y micro-estructura, las cuales que van a determinar las propiedades mecánicas y de barrera protectora en los alimentos.

Las películas pueden ser compuestas de polisacáridos, proteínas, lípidos o de sus combinaciones. En el grupo de los polisacáridos se encuentran pectinas, gomas, quitosano, carragenina y los derivados de celulosa que son principalmente metilcelulosa (MC), hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y carboximetilcelulosa (CMC). En la formación de películas comestibles, la goma guar se utiliza como ligante de agua, estabilizador y formador de viscosidad. La goma xantana se dispersa fácilmente en agua, por lo tanto, se obtiene alta consistencia rápidamente tanto en sistemas calientes como en fríos (Skurtys et al., 2010). Por su parte, los derivados de celulosa, poseen habilidades de formar películas gelatinosas inducidas térmicamente y son usados como barreras para la absorción de lípidos (Bourtoom, 2008; Skurtys et al., 2010). Otro de los materiales utilizados en las películas es el propilenglicol debido a su función de aumentar la dureza y la flexibilidad de las mismas, además de incrementar su permeabilidad al vapor de agua y los gases (Shafiur, 2007).

La malanga o *Xanthosoma sagittifolium* (L.) es originaria de los trópicos americanos. Es un tubérculo ubicado en el puesto seis en las áreas de producción y plantación mundial, después de la yuca, papa, camote (*Ipomoea batatas*), ñame (*Dioscorea esculenta*) y taro (*Colocasia esculenta*). Las áreas principales de distribución del cultivo son el Caribe, América Central, Sudamérica, Estados Unidos y Asia tropical (FAO, 2010). La producción de malanga en el año 2007 a nivel mundial fue de aproximadamente 10 millones de toneladas, siendo Estados Unidos y los países asiáticos los principales consumidores. En América Latina, la producción de malanga no figura como un cultivo principal, sin embargo, se produce en Nicaragua, Ecuador, Puerto Rico, República Dominicana y Costa Rica. La malanga tiene contenidos de proteína y compuestos fenólicos superiores a la papa (Rodríguez et al., 2011) por lo que podría considerarse como una materia prima de gran potencial debido a que aporta con una ingesta importante de antioxidantes fenólicos.

Las papas fritas son consumidas mundialmente por lo que ha habido interés en el empleo de películas comestibles que reduzcan la absorción de grasa durante la fritura. Paralelamente en el mercado ecuatoriano se ha observado el desarrollo de productos similares como son chips de yuca y camote. Sin embargo, no se han realizado estudios del desarrollo de chips de malanga como tampoco del empleo de películas comestibles en malanga frita.

En base a la información antes presentada, se puede observar que en el mercado ecuatoriano el consumo de malanga es prácticamente inexistente por lo que el presente trabajo desea presentar una alternativa al consumo de papas fritas, con un tubérculo que no ha sido explotado en el ámbito nacional. Para ello, se pretende evaluar el efecto de la aplicación de películas comestibles a base de CMC y goma xantana previo a la fritura de malanga con el objetivo de reducir la absorción de grasa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los cormos de malanga fueron adquiridos en Santo Domingo de los Colorados, Ecuador. Los cormos fueron lavados con agua para eliminar las impurezas. Posteriormente, se los peló manualmente y se los cortó en tiras con una base de 1x1 cm. Las tiras de malanga se lavaron en agua fría por 30 segundos para remover el almidón superficial y a continuación fueron sumergidas en una solución de ácido cítrico al 1%. Posteriormente las muestras se escaldaron a temperatura de 85 ¬ºC por 6 minutos (Pahade y Sakhale, 2012) e inmediatamente se sumergieron en soluciones de CMC o goma xantana con concentraciones de 0.5 y 1.5 % (w/v) por tiempos de 0.5 y 1.5 minutos. Las soluciones de CMC y goma xantana contenían propilenglicol en una concentración del 50% (p/p) en base al peso del hidrocoloide. Las muestras de malanga recubiertas se secaron en una estufa a 135 ºC por 3 minutos (Singthong y Chutima, 2009). Posteriormente, se realizó la fritura en una freidora (DeLonghi, Italia) de capacidad 2.5 litros con aceite comercial marca Sabrofrito (La Fabril, Manta, Ecuador) a una temperatura de 180°C por 5 min con una relación aceite: malanga de 6:1 (p/p).
La determinación de humedad de las muestras de malanga se realizó gravimétricamente de acuerdo a método descrito en la AOAC (1984).

2.1 Grasa superficial

La determinación de grasa superficial se realizó basada en el método de Bouchon et al. (2003). La grasa superficial se define como la cantidad de grasa que permanece en la

superficie del producto y que es de fácil remoción. Las muestras de malanga fritas fueron sumergidas por un lapso de 1 segundo en 150 mL de hexano a temperatura ambiente (aproximadamente 15 °C). El hexano utilizado fue sometido a evaporación mediante calentamiento en un rotavapor (Buchi, Suiza). El residuo de la evaporación, que contenía la grasa extraída, fue secado a 105 °C. El porcentaje de grasa extraído fue calculado mediante la ecuación 1.

$$\%\ grasa\ superficial = \frac{peso\ grasa\ extraída\ (g)}{peso\ muestra\ inicial\ (g)} x100 \quad (1)$$

2.2 Grasa total

La determinación de grasa total se realizó basada en los métodos de Bouchon et al. (2003) y de la AOAC (1984). Las muestras de malanga fueron finamente cortadas y luego transferidas a un dedal de extracción conjuntamente con 130 mL de hexano. La extracción se realizó por 4 horas usando un equipo soxhlet (Labotec, Sudáfrica). El hexano utilizado en la extracción fue transferido a un rotavapor donde fue sometido a evaporación. El residuo de la extracción fue secado a 105 °C. El porcentaje de grasa total se determinó mediante la ecuación 2.

$$\%\ grasa\ total = \frac{peso\ grasa\ extraída\ (g)}{peso\ muestra\ inicial\ (g)} x100 \quad (2)$$

2.*3 Diseño experimental*

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2^2 (Tabla 1). Los factores utilizados fueron la concentración del hidrocoloide y el tiempo de inmersión. Las variables de respuesta fueron grasa superficial, grasa total y humedad. Adicionalmente se utilizó un control que correspondió a malanga frita sin ningún recubrimiento. Los resultados se procesaron en base a análisis de varianza individuales (ANOVA) y mediante la prueba de separación de medias de Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 1. Diseño experimental DCA 2^2 con sus factores concentración de hidrocoloide y tiempo de inmersión

Hidrocoloide	Concentración (%) A	Tiempo de inmersión (min) B	Nomenclatura
Goma xantana ó CMC	0.5	0.5	A1B1
	0.5	1.5	A1B2
	1.5	0.5	A2B1
	1.5	1.5	A2B2

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Recubrimiento con películas de goma xantana

3.1.1 Grasa Superficial

En la tabla 2 se observa que existió diferencia significativa ($p < 0.05$) en el contenido de grasa de las muestras de malanga tratadas con los diferentes recubrimientos. El tratamiento A2B1 presentó el menor porcentaje de grasa superficial (1.18%), valor que fue estadísticamente diferente a los otros tratamientos y se lo seleccionó como el mejor. Los tres tratamientos restantes presentaron medias estadísticamente iguales. En base al contenido de grasa superficial del control (1.74%), la reducción del contenido de grasa superficial en el mejor tratamiento (A2B1) fue 31.79%. Los resultados obtenidos fueron similares a los presentados por Altunakar et al. (2007) en nuggets de pollo recubiertos con goma xantana. La reducción del contenido de grasa en dicho estudio fue del 33% comparado con el control. En estos dos estudios se comprueba que la formación de una película con goma xantana reduce la absorción de grasa durante la fritura, por su acción como barrera contra la penetración de aceite.

Tabla 2. Efecto de la variación de la concentración de goma xantana y el tiempo de inmersión en el contenido de grasa superficial, grasa total y humedad de malanga frita

Tratamiento	Grasa superficial[1,2](%)	Grasa total[1,2] (%)	Humedad[1,3] (%)
A2B1	1,18[b] (32,18)	6,30[d] (63,39)	65,83[a] (20,72)
A2B2	1,56[a] (10,34)	7,26[c] (57,82)	59,10a[b] (8,38)
A1B2	1,59[a] (8,62)	8,24[b] (52,12)	61,77a[b] (13,28)
A1B1	1,59[a] (8,62)	9,23[a] (46,37)	57,53[b] (5,50)
Control	1,74	17,21	54,53

[1]Letras diferentes indican que existió una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$)

[2]Valores entre paréntesis corresponden al porcentaje de reducción de grasa en base al contenido de grasa del control

[3]Valores entre paréntesis corresponden al porcentaje de diferencia de humedad en relación al contenido de humedad del control

3.1.2 Grasa total

En la Tabla 2 se observa que la media del contenido de grasa total del tratamiento A2B1 (6.3%) fue menor y estadísticamente diferente a los otros tratamientos. El tratamiento A2B1 presentó una reducción en el contenido de grasa de 63.39% en relación al control, el cual tuvo una absorción de grasa total del 17.21%. Sakhale et al. (2011) reportó una reducción en el contenido de grasa de 53.32% en relación al control para samosa (empanadas vegetarianas de la India). Dicha reducción se obtuvo mediante el uso de goma xantana a un nivel de 1.5%. Sothornvit (2011) obtuvo una disminución en el contenido de grasa de 17.22% en chips de banana recubiertos con goma xantana al 1.5%. Como se puede ver, la concentración de goma xantana del 1.5% del presente trabajo presentó reducciones de absorción de grasa superiores a los de otros estudios. La diferencia en la reducción de grasa entre los estudios puede deberse a las diferentes condiciones de fritura, así como a las características propias del alimento sometido a la fritura. Según Sahin et al. (2005), la efectividad de la goma xantana a esta concentración se relaciona con la alta viscosidad

desarrollada, lo que le confiere las características para su acción de barrera contra la absorción de aceite.

3.1.3 Humedad

En la Tabla 2 se observa que el tratamiento con mayor humedad fue A2B1 (65.83%), siendo su media estadísticamente igual a los tratamientos A2B2 y A1B2, pero diferente a la humedad del tratamiento A1B1. El tratamiento A2B1 tuvo un 20.72% más humedad que el control. En el estudio de Sakhale et al. (2011) se reportó una diferencia de humedad en relación al control de 28.96% para samosa recubiertas con goma xantana al 1.5%. Sahin (2005) encontró que el contenido de humedad en los nuggets de pollo frito cubiertos con goma xantana fue 12.5% más que el control. Este resultado es inferior al obtenido para malanga en el presente estudio. La diferencia de resultados posiblemente se debe a las diferentes condiciones de fritura, así como a las características del producto sometido a fritura. En el presente estudio se observó una relación inversa entre humedad y grasa absorbida. Se conoce que la fritura es un proceso de deshidratación en el cual la transferencia de masa se da por la pérdida de agua y la absorción de aceite. Estas dos transferencias operan en contracorriente, el agua abandona el producto en forma de vapor e internamente migra por diversos mecanismos de transporte (Bermúdez et al., 2010). Otras investigaciones muestran que la mayor absorción de grasa se da después del proceso de fritura, al producirse la condensación del vapor que da lugar a un efecto de vacío, favoreciendo de esta manera la migración de aceite desde el exterior. Cabe anotar que solamente el 15% del total de grasa absorbida se queda en el interior y el restante en la superficie (Pahade y Sakhale, 2012). Sin duda el efecto de barrera de la película podría reducir la absorción de aceite a nivel superficial.

3.2 Recubrimiento con películas de carboximetilcelulosa (CMC)

3.2.1 Grasa superficial

En la Tabla 3 se puede observar que el tratamiento que presentó el menor porcentaje de grasa superficial y estadísticamente diferente a los otros fue A2B1. El tratamiento A2B1 con un porcentaje de 0.32% de grasa superficial presenta una reducción en la absorción de grasa de 81.61% en relación al control, el cual tuvo una absorción de 1.74%. Priya et al. (1996) reportó que la adición de CMC al 2% resultó en una reducción en el contenido de grasa de 26.2% en boondis fritos (snack de la India). Aunque la reducción del contenido de grasa en ese estudio es menor al obtenido en la malanga frita, en ambos se reporta que la acción de la película de CMC presenta una reducción en la absorción de grasa. Según Sahin et al. (2005) los grupos metilos de los derivados de celulosa producen asociaciones intermoleculares con moléculas adyacentes durante la gelificación. Esta matriz de gel al parecer influye en las propiedades de barrera, lo que explica la reducción en la absorción de grasa.

Tabla 3. Efecto de la variación de la concentración de carboximetilcelulosa y el tiempo de inmersión en el contenido de grasa superficial, grasa total y humedad de malanga frita

Tratamiento	Grasa superficial[1,2] (%)	Grasa total[1,2] (%)	Humedad[1,3] (%)
A2B1	$0,32^{d}$ (81,61)	$4,90^{c}$ (71,53)	$74,05^{a}$ (35,79)
A2B2	$0,66^{c}$ (62,07)	$7,28^{b}$ (57,70)	$65,74^{b}$ (20,56)
A1B2	$0,93^{b}$ (46,55)	$7,41^{b}$ (56,94)	$64,83^{b}$ (18,89)
A1B1	$1,29^{a}$ (25,86)	$10,26^{a}$ (40,38)	$57,76^{c}$ (5,92)
Control	1,74	17,21	54,53

[1]Letras diferentes indican que existió una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$)

[2]Valores entre paréntesis corresponden al porcentaje de reducción de grasa en base al contenido de grasa del control

[3]Valores entre paréntesis corresponden al porcentaje de diferencia de humedad en relación al contenido de humedad del control

3.2.2 Grasa total

Se observa en la tabla 3 que el tratamiento que tuvo el menor porcentaje de grasa total fue A2B1 (4.90%), con una reducción de grasa de 71.53% en relación al control, el cual tuvo una absorción de grasa de 17.21%. Este resultado es superior al obtenido por Singthong y Chutima (2009) en chips de banana con recubrimientos a base de pectina y CMC, ambos al 1%. En dicho estudio el contenido de grasa se redujo en un 43.04%. Rimac et al. (2004) obtuvo una reducción de grasa del 54% en papas fritas recubiertas con CMC al 1%. En ambos casos la diferencia de resultados puede deberse a las condiciones de fritura y a las características del material sometido a fritura. La efectividad del CMC se atribuye a que los derivados de celulosa a través de la formación de películas a temperaturas por encima de su temperatura de gelificación reducen la absorción de aceite, especialmente cuando se añade en forma pre-hidratada Funami et al. (1999).

3.2.3 Humedad

En la Tabla 3 se observa que el mayor porcentaje de humedad lo tuvo el tratamiento A2B1 (74.05% humedad) el cual además fue estadísticamente diferente a los otros tratamientos. Adicionalmente el tratamiento A2B1 tuvo un 35.79% de humedad más que el control, el cual tuvo un contenido de humedad de 54.53%. En el estudio de Singthong y Chutima, (2009) en chips de banana cubiertos con películas comestibles al 1% de CMC el aumento en el contenido de humedad con el uso de CMC en comparación con el control fue de 28.63%. El CMC en los dos estudios actúa como barrera para retención de humedad, sin embargo, puede variar la retención de humedad por ser alimentos y condiciones de fritura diferentes. La propiedad que permite que el CMC contribuya a la retención de agua es la capacidad ligante de agua de las moléculas que lo conforman

(Pomeranz, 1991). La mayor retención de humedad en el tratamiento A2B1 se relaciona directamente con los menores porcentajes de absorción de grasa total y superficial del mismo tratamiento.

En base a los resultados previos se muestra que el uso de CMC presenta menores contenidos de grasa superficial y grasa total que la goma xantana. En ambos casos el tratamiento que tuvo los menores contenidos de las variables antes citadas fue el tratamiento A2B1, con 1.5% de concentración de hidrocoloide y 0.5 min de inmersión.

Se sabe que el CMC y la goma xantana forman una película en la superficie del producto, misma que disminuye la absorción de aceite y la pérdida de humedad, por lo que la transferencia de masa tanto de aceite como de agua se reduce. El contenido de aceite de las malangas fritas se redujo considerablemente con la adición de cualquiera de los dos hidrocoloides en comparación con el control. El CMC es el hidrocoloide que mostró los mejores resultados en todas las variables de respuesta. Esto se pudo dar posiblemente a la mayor viscosidad que desarrolla el CMC (13000 cP para una solución 1%), en relación a la de goma xantana (1600 cP para una solución 1%) (Embuscado y Kerry, 2009). La mayor viscosidad de la solución de CMC pudo favorecer a que el hidrocoloide se deposite de manera más uniforme sobre el producto que la goma xantana. En un estudio realizado por Garmakhany et al. (2008) en chips de papas recubiertas con hidrocoloides, la mayor reducción del contenido de grasa fue de 57.03% para CMC al 1% y de 55.94% para goma xantana al 0.5%, resultados similares al presente estudio.

4. CONCLUSIONES

El uso de recubrimientos a base de CMC y goma xantana previos a la fritura de malanga ayudó a disminuir la absorción de grasa total en un 71.53% y 63.39% respectivamente. Dichos resultados se obtuvieron para malangas tratadas con hidrocoloide al 1.5% con tiempos de inmersión de 0.5 min. El uso de recubrimientos previos a la fritura representa una buena alternativa para la obtención de malanga frita con menor contenido de grasa. Se recomienda la realización de un análisis sensorial de las malangas sometidas a fritura, previamente recubiertas con películas comestibles a base de CMC o goma xantana para conocer si existe algún efecto adverso en las características organolépticas del alimento frito.

REFERENCIAS

Altunakar, B., Sahin, S., Sumnu, G. (2007). Effects of hydroclloids on apparent viscosity of batters and quality of chicken nuggets. *Chemical Engineering Communications*. (193), 675-682.

AOAC. (1984). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. EEUU, Washington.

Bermúdez, A., Velez, C., Arrázola, G. (2010). Efecto de las condiciones de freído sobre la pérdida de humedad y ganancia de aceite en trozos de ñame (Dioscorea alata). *Ingeniería e Investigación*. (30), 41-44.

Bouchon, P., Aguilera, J., Pyle, D. (2003). Structure Oil–Absorption Relationships During Deep-Fat Frying. *Food Engineering and Physical Properties*. (68), 2711–2716. DOI: 10.1111/j.1365-2621. 2003.tb05793

Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*. (1), 237-248.

Embuscado, M., Kerry, C. (2009). *Edible Films and Coatings for Food Applications*. New York: Springer Science.

FAO. (2010). Quality declared planting material. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Roma: CIP.

Funami, T. Funami, M., Tawada, T., Nakao, Y. (1999). Decreasing Oil Uptake of Doughnuts During Deep-fat Frying Using Curdlan. *Journal of Food Science.* (64), 883-888.

Garmakhany, A., Habib, O., Mahdi, K., Yahya, M. (2008). Study of oil uptake and some quality attributes of potato chips affected by hydrocolloids. *European Journal of Lipid Science and Technology*. (110), 1045–1049

Pahade, P., Sakhale, B. (2012). Effect of blanching and coating with hydrocolloids on reduction of oil uptake in french fries. *International Food Research Journal.* (19), 697-699.

Priya, R., Singhal, R., Kulkarni, P. (1996). Carboxymethyl cellulose and hydroxypropyl methyl cellulose as additives in reduction of oil content in batter based deep-fat fried boondis. *Carbohydrate Polymers* (29), 333-335.

Pomeranz, Y. (1991). *Functional Properties of Food Components*. California Academic Press Inc.

Quintero, C. (2010) Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga.* (5), 93-118.

Rimac, B.S., Lelas, V., Rade, D., Simundic, B. (2004). Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. *Journal of Food Engineering.* (64), 237-241.

Rodríguez, J., Miguel, José., Rivadeneyra, R., Ramírez, E., Juárez-Barrientos, Esperanza, J., Herrera, T, Navarro, R., Hernández, B. (2011). Caracterización fisicoquímica, funcional y contenido fenólico de harina de malanga (Colocasia esculenta) cultivada en la región de Tuxtepec, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*. (15), 37-47.

Sahin, S., Sumnu, G., Altunakar, B. (2005). Effects of batters containing different gum types on the quality of deep-fat fried chicken nuggets. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* (85), 2375-2379.

Sakhale, B., Badgujar, J., Pawar, V., Sananse, S. (2011). Effect of hydrocolloids incorporation in casing of samosa on reduction of oil uptake. *Journal of Food Science and Technology*. (10), 769-772.

Shafiur, M. (2007). *Surface treatments and edible coatings in food preservation". Handbook Of Food Preservation*. United States: CRC Press.

Singthong, J., Chutima, T. (2009). Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana chips. *LWT - Food Science and Technology*. (42) 1199–1203.

Skurtys, O. Acevedo, C., Pedreschi, F., Enrione, J., Osorio, F., Aguilera, J. M (2010). Food Hydrocolloid Edible Films and *Coatings*. New York: Nova Science Publishers.

Sothornvit, R. (2011). Edible coating and post-frying centrifuge step effect on quality of vacuum-fried banana chips. *Journal of Food Engineering*. (107), 319–325

Vanessa Morales. Graduada de Ingeniera de Alimentos de la Universidad San Francisco de Quito, actualmente trabajando como nutricionista clínica en el Área de Nutrición y Alimentación del Hospital Carlos Andrade Marín de Quito.

Stalin Santacruz. Graduado como Ingeniero Químico en la Escuela Politécnica Nacional, luego de lo cual se desempeñó como asistente de investigación en el entonces Instituto de investigaciones Tecnológicas (actual DECAB). Realizó su maestría en la misma institución, y luego de ello trabajó como investigador en North East Wales Institute (UK). Seguidamente hizó sus estudios de doctorado en Swedish University of Agricultural Sciences, Suecia y en Lund University el postdoctorado. De regreso al Ecuador trabajó como docente en la Universidad San Francisco de Quito y actualmente labora como docente-investigador en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Evaluación de un Sistema de Enmascaramiento de Olor de Muestras de Ajo, Mediante un Sistema de Nariz Electrónica

Ordoñez Araque, Roberto[1]; Barat, José Manuel[1]

[1]Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

Resumen: El ajo presenta una actividad antioxidante y antimicrobiana y según recientes reportes, podría asociarse también con efectos anticancerígenos. Estas características hacen del ajo un potencial ingrediente para el desarrollo de productos funcionales; sin embargo su característico olor limita su uso. Este trabajo evaluó el posible enmascaramiento de los compuestos que desarrollan el olor en el ajo, empleando sistemas de liberación controlada, reportados recientemente en diversas aplicaciones alimenticias. Mediante el uso de una Nariz Electrónica se detectaron muestras de uno de los compuestos organosulfurados más importantes en el desarrollo del olor del ajo, dialil disulfuro. Este compuesto fue encapsulado en un soporte microparticulado de sílice mesoporosa (MCM41), que a su vez fue recubierto con dos diferentes sistemas moleculares. Estos sistemas, actúan como puertas para controlar la liberación del compuesto cargado en los poros. En este trabajo, dichos sistemas se propusieron como dispositivos potenciales para enmascarar el olor de dialil disulfuro encapsulado. Los resultados obtenidos por la nariz electrónica se analizaron mediante un desarrollo estadístico multivariado de componentes principales (PCA). Se encontraron interesantes diferencias entre los sistemas a los que no se ancló ningún tipo de puerta molecular y los sistemas que si la incluían. Adicionalmente las muestras recubiertas, se agruparon dentro de las muestras blanco que no contenían el compuesto en sus poros ni los sistemas moleculares en su superficie. Por lo tanto dichas muestras blanco no tenían un olor característico perceptible por el equipo y deja ver el posible efecto de enmascaramiento que produjo el uso de los sistemas moleculares.

Palabras clave: Nariz electrónica, ajo, dialil disulfuro, puertas moleculares, PCA, soportes microparticulados de sílice mesoporosa.

Evaluation of a Masking System for Garlic odors, through a System of an Electronic Nose

Abstract: Garlic have an antioxidant and antimicrobial activity and according to recent reports, could also be associated with anti-cancer effects. These features make the garlic ingredient extremely usefu for the development of functional products; however its characteristic odor limits its use. This study evaluated the potential possibility to mask developing compounds in garlic odor using controlled release systems, recently reported in various food applications. Using an Electronic Nose, built by the electronics department of the Polytechnic University of Valencia, samples of one of the most important organosulfur compounds in the development of the smell of garlic, diallyl disulfide were detected. This compound was encapsulated in a microparticle support mesoporous silica (MCM41), which in turn was coated with two different molecular systems. These systems act as gateways to control the release of the compound loaded in the pores. In this work, these systems were proposed as potential odor masking devices diallyl disulfide encapsulated. The results obtained by the electronic nose were analyzed by multivariate statistical development of principal components (PCA). Interesting differences between the systems were found to which any door and molecular systems were not anchored. Additionally the coated samples were grouped within the white sample, containing no compound of pore molecular systems or on its surface. Therefore these white samples had no noticeable characteristic odor for the team and reveals the possible masking effect produced using molecular systems.

Keywords: Electronic nose, garlic, diallyl disulfide, molecular gates, PCA, microparticulate silica mesoporous supports.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la composición del ajo se encuentran hidratos de carbono, proteínas, vitaminas (B1, B3, B6, C, E), minerales (fósforo, zinc, potasio, yodo) lípidos, terpenos, flavonoides, enzimas, sales de selenio, azúcares y diferentes elementos fenólicos (Block, 1985), se distinguen centenares de compuestos bioactivos, principalmente asociados a los componentes azufrados. De forma profusa se encuentra el aminoácido azufrado aliína osulfóxido de S-alil-cisteína

roaroa_7@hotmail.com
Recibido: 23/12/2016
Aceptado: 23/10/2017
Publicado: 31/10/2017

(López, 2007). La aliína es un derivado del aminoácido cistiína que constituye el principal sustrato para la enzima aliinasa, que una vez desligada de su compartimiento intracelular por rotura (molturación o trituración), se transformará en alicina (dialiltiosulfonato), causante del olor representativo del ajo, esta se descompone inmediatamente y forma mono, di y trisulfuros, conjuntamente con otros derivados azufrados como el ajoeno, el disulfuro de dialilo, trisulfuro de dialilo, y diallil disulfuro, este último representa un 70% de los organosulfuros que dan el olor característico al ajo (Díaz y Jiménez 2008), (Fulder y Blackwood, 1997).

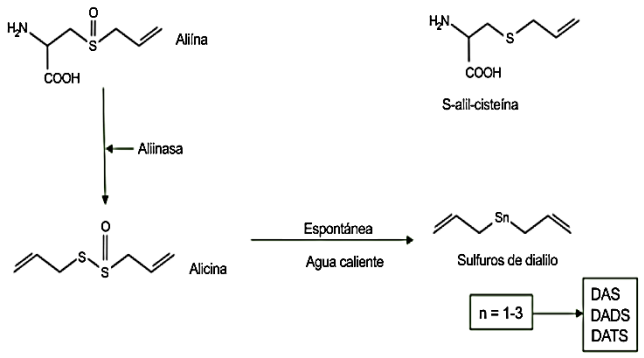


Figura 1. Síntesis de algunos componentes del ajo y derivados. DAS: Sulfuro de dialilo; DADS: Disulfuro de dialilo; DATS; Trisulfuro de dialilo (Navarro, 2007).

Los componentes azufrados presentes en el ajo se consideran bioactivos; entre los elementos más importantes destaca la aliína y ajoeno (ajocisteína) a los que se asocia una posible acción hipotensora hipoglucemiante, anti-inflamatoria y vasodilatadora (Trujillo et al., 2004). Recientes estudios del sulfuro de dialilo y organosulfuros asociados, han demostrado la acción hipocolesterolemiante, y preventiva frente a daños químicos del DNA (a través del aumento de la producción de enzimas desintoxicantes), además de posibles efectos quimioprotectores que favorecen la acción desintoxicante del hígado frente a sustancias químicas nocivas para el organismo (García y Sánchez, 2000).

En los sistemas nanoestructurados de sílice mesoporosa, el más estudiado y utilizado es el MCM-41. Materiales compuestos de sílice amorfa (SiO2), que poseen una fuerte estructura definida y ordenada, con un tamaño de poro entre 2 y 50 nm (Kresge et al. 1992). Este material presenta una elevada área superficial, formación porosa topológicamente ordenada (poros hexagonales) con estrecha distribución entre ellos y un buen diámetro de poro que sirve para procesar sustratos voluminosos (Fellenz et al., 2012).
A lo largo del tiempo, se destaca su uso en aplicaciones farmacéuticas, un ejemplo de ello se muestra en el trabajo de Vallet-Regi et al. (2001), donde realizaron adsorción de ibuprofeno por impregnación, seguido de una descarga introduciendo el polvo en medios diferentes de la liberación in vitro. Del mismo modo se reportan estudios sobre la liberación controlada de vitamina B2 en agua a partir de materiales a base de sílice mesoporosos que permite analizar lo importancia de estos sistemas como soportes de encapsulación y liberación controlada de diversos compuestos con excelentes resultados (Bernardos et al., 2008). Dentro de las propiedades o características que tienen estos sólidos es la forma como está hecha su superficie que permite que hayan interacciones a través de las cuales es posible anclar una gran variedad de moléculas, inicialmente se las usaba adhiriéndoles marcadores moleculares, después con el auge de la liberación controlada se planteó usar moléculas que recubran la superficie de dichos sólidos, desarrollando una tecnología llamada puertas moleculares (Coll et al., 2013).

Las puertas moleculares son sistemas que controlan la liberación de una carga a través de la aplicación de un estímulo externo, estos pueden ser físicos, químicos o bioquímicos, existen estudios con aplicaciones para el diseño de materiales autoreparadores, fármacos, fertilizantes, pesticidas y herbicidas (Bernardos, 2011). Algunos estudios más recientes buscan aplicar estos sistemas en el área de alimentos, se reportan principalmente dos tipos de puertas: un sistema molecular de hidrolizados de almidón, denominado G47 y un sistema de poliaminas denominado carboxilato (Merino et al., 2010). En función al estímulo al que responden dichos sistemas, resultan de amplio interés dentro del desarrollo de nuevos productos alimenticios, la puerta molecular G47 responde a una acción enzimática y en presencia de pancreatina, el enlace glicosídico (1 → 4) entre β-D-glucosas presente en el almidón se hidroliza con la posterior liberación del contenido encapsulado en los poros (Oroval et al., 2013). En cuanto a las puertas constituidas por poliaminas son sistemas que responden a un cambio de pH, basado en un proceso de protonación y desprotonación, cuando en el medio se encuentra pH ácido los átomos de nitrógeno de las poliaminas sufren repulsiones electrostáticas y se protonan, estas repulsiones hacen que las poliaminas se configuren y bloqueen los poros del soporte y se inhibe la liberación de la carga, a pH neutro las poliaminas se desprotonan y las repulsiones electrostáticas disminuyen permitiendo una conformación flexible, lo que desbloquea el poro y permite la liberación de la carga (Acosta et al., 2014).

La superficie externa de estos materiales mesoporosos (MCM-41) se funcionalizan con distintos tipos de moléculas, pueden encapsular en el interior de su poro a diferentes tipos de materiales. Cuando se realiza ésta funcionalización con puertas moleculares, un estímulo externo ocasionará que la puerta se abra y el material libere la muestra encapsulada en los poros, o que admita el ingreso de otras especies que se encuentren en el medio (Casasús, 2009). Las moléculas volátiles pueden llegar a ser retenidas por el sistema de puertas, éstos dispositivos servirían para enmascarar características como el olor, lo que en la industria alimentaria representa una importante aplicación para el desarrollo de nuevos productos.

Se han considerado sistemas olfativos artificiales como instrumentos que realizan análisis de mezclas complejas de gases. Estos tienen el nombre de nariz electrónica, su objetivo es analizar cualitativamente aromas difíciles de percibir reconociendo sus huellas olfativas, valorando los componentes de la muestra a analizar en todo su conjunto y no de una manera cuantitativa (Lozano et al. 2008). El propósito general del sistema de sensores de una nariz electrónica es el de emular el sistema olfativo humano diferenciando adecuadamente los distintos tipos de compuestos volátiles que le sean requeridos.

Para la empresa alimentaria el uso de estos sistemas es cada vez mayor y se lo utiliza en el análisis sensorial de sustancias complejas. Desde el desarrollo del primer sistema en ser llamado nariz electrónica en 1982, se han venido desarrollando investigaciones referentes a esta tecnología enfocadas al área alimenticia (Rodriguez, 2001).

En una red amplia de sensores como es la red de la nariz electrónica, el número de variables es muy alto y se debe recurrir a métodos de análisis sofisticados que permitan observar diferencias entre todas las series de datos como algo global y no como una respuesta individual de cada sensor (Gardner, 1991). El método que asume colinearidad entre las variables que intervienen en el sistema se llama PCA (análisis de componentes principales), es un algoritmo lineal adecuado para explotar el concepto de variables solapadas que se utiliza en las narices electrónicas (Jackson, 1981). Esta es una técnica no supervisada útil cuando se busca una relación entre muestras o cuando no existan ejemplos con otros modelos para comparar. En el plano, las muestras con características olfativas comunes estarán alineadas en la misma región del espacio, mientras que las muestras con características diferentes se alinearan de forma separada (Durán, 2013).

El objetivo de este trabajo fue evaluar a través del seguimiento del perfil aromático por nariz electrónica, dos sistemas de puertas moleculares (G47 y carboxilato), como dispositivos de enmascaramiento de olor de dialil disulfuro (DADS) que fue encapsulado en un sistema de micropartículas de sílice mesoporosa MCM41.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Todos los productos se usaron directamente sin la aplicación de purificación. Los compuestos Diallyldisulfide (Tech, 80%) y NaClO4 (reactivo ACS, 98%) se adquirieron en la casa Sigma Aldrich. Las soluciones se prepararon con acetonitrilo (grado de gradiente para HPLC, Fisher Scientific) y agua desionizada de resistividad 18,2 MU/cm^{-1} (Milliporos UHQ, Vivendi, UK).
Se utilizaron compuestos de ortosilicato de tetraetilo (TEOS), n-bromuro de cetiltrimetilamonio (CTAB), hidróxido de sodio, trietanolamina (TEAH3), 3-aminopropiltrietoxisilano, 3-[2-(2-aminoetilamino) etilamino]-propil-trimetoxisilano, carboxilato (N-[(3-trimethoxysilyl)propyl] ethylenediamine triacetic acid trisodium salt) (Lewandowski et al., 2014) y pancreatina que fueron proporcionados por la marca Aldrich. Las muestras de almidón modificado G47 (5% glucosa, 50% maltosa, 45% oligosacáridos y polisacáridos) se obtuvieron de la organización Roquette.

2.2 Síntesis de los sistemas de encapsulación

2.2.1 Síntesis de micropartículas de sílice mesoporoso MCM-41 (S0)

Se sintetizaron los soportes mesoporosos MCM-41 a través de la ruta de los atranos (Cabrera et al., 2000), se añadieron 4,68 g de CTAB a 118 °C en una solución de TEAH3 (25,79 g) que contenía 0,045 moles de precursor de silice (TEOS, 11 ml). Se adicionaron 80 ml de agua con agitación fuerte a 70 °C con lo que se formaron suspensiones blancas. Esta mezcla se la mantuvo con agitación constante a temperatura ambiente durante 10 horas. Los productos finales en forma de polvo se recogieron por filtración y se lavaron. Los sólidos se secaron a 70 °C y para eliminar el surfactante se calcinaron a 550 °C durante 5 horas utilizando atmósfera oxidante (Llinàs y Sánchez, 2014).

2.3 Encapsulado de los componentes de ajo

2.3.1 Carga del dialil disulfuro en los sistemas mesoporosos (S1)

En un matraz de fondo redondo se suspendieron 100 mg de micropartículas mesoporosas MCM-41 en 40 ml de una solución de DADS disuelto en acetonitrilo. Se evaluaron tres concentraciones de encapsulado diferentes, 0.01, 1 y 10 ml/mg. Estos compuestos se agitaron durante 24 horas a temperatura ambiente, se filtraron y secaron a la misma temperatura durante 12 horas (Descalzo, 2008).

2.4 Funcionalización de los soportes cargados con DADS

2.4.1 Síntesis de S2

Con una relación 1:1 en un matraz de fondo redondo se adicionaron compuestos de carboxilato (N-[(3-trimethoxysilyl)propyl] ethylenediamine triacetic acid trisodium salt) en 10 ml de acetonitrilo. Éstos se agitaron durante 5,5 horas a temperatura ambiente en una atmósfera inerte de nitrógeno. Se filtraron y lavaron con solución ácida (ácido sulfúrico) con pH de 2,0 y se secaron durante 12 horas a 35 º C (Bernardos et al., 2008).

2.4.2 Síntesis de S3

En un matraz de fondo redondo se adicionaron en medio acuoso, en una relación 1:1 el sólido S1 y el almidón modificado G47, previamente anclado a una amina (N1: aminopropyltriethoxysilane). Se agitaron durante 5,5 horas a temperatura ambiente en una atmósfera inerte de nitrógeno. Se filtraron y lavaron con agua (milli-Q) y se secaron durante 12 horas a 35 º C (Bernardos et al., 2008).

2.5 Medidas en nariz electrónica, diseño del experimental

Se realizaron estudios preliminares con una muestra pura de DADS para ver su interacción con los sensores, se determinó que era necesario una medida de limpieza del equipo de 10 minutos, después una medida de aire de 20 minutos y finalmente una medida de la muestra de 20 minutos. Los sensores desarrollaron una zona dinámica durante los primeros 10-12 minutos, seguida de una zona estable que se mantuvo hasta el final de la medición, por lo que no es necesario tener la muestra más de ese tiempo.
Se diseñaron modelos de evaluación para el ensayo incial y el diseño experimental con tres series de medida cada una, se realizaron tres repeticiones en días diferentes con el fin de obtener un conjunto de datos robustos para realizar un análisis

correcto del experimento, coincidiendo con la investigación de Quintero (1993) donde se desarrollaron varios experimentos con tres repeticiones cada uno para evaluar leguminosas arbustivas en la alimentación de conejos.
El ensayo inicial de detección del DADS se validó a través de una solución del compuesto puro en acetonitrilo, medida en tres concentraciones diferentes: 0,1 – 10 y 700 mg/ml. Finalmente con las condiciones del método validadas, se dio paso a la medición de los sólidos. Bajo el mismo diseño de 3 series por 3 repeticiones donde se evaluaron los sólidos: S0 S1, S2 y S3.
Para este experimental se escogieron concentraciones de 0,01, 1 y 10 mg/ml.
Para diferenciar las muestras como se expone en la tabla 1 se emplearon denominaciones que indican (S0) para la muestra sin olor, (S1) al sólido mesoporoso cargado con DADS a distintas concentraciones, y (G o C) que indica el tipo de puerta que se emplearon para funcionalizar y enmascarar el sólido cargado con el compuesto de ajo con 3 tipos de concentraciones, (S2) para las muestras C que emplean el conjunto de aminas o carboxilato y (S3) para referirse al sistema G de hidrolizado de almidón G47

Tabla 1. Nomenclatura utilizada en muestras

Muestra	Descripción
0	Muestra blanco: Sólido sin carga ni funcionalización de ninguna puerta (S0)
1	Sólido cargado con una concentración de DADS de 0,01-1-10 mg/ml sin puerta (S1)
0,01/1/10 C	Sólido cargado con una concentración de DADS de 0,01-1-10 mg/ml y recubierto con la puerta de carboxilato (S2)
0,01/1/10 G	Sólido cargado con una concentración de DADS de 0,01-1-10 mg/ml y recubierto con la puerta G47 (S3)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Ensayos preliminares

Los primeros ensayos se desarrollaron para determinar si la naríz electrónica es capaz de reconocer el extracto de ajo independientemente de la concentración a la que se lo mida, como lo realizaron en el estudio de Ardila et al. (2009) donde se hicieron ensayos preliminares en una nariz electrónica para determinar la actividad antibacterial de distintos aceites esenciales y posteriormente analizaron las concentraciones inhibitorias de dichos aceites, de la misma manera se realizaron pruebas iniciales en esta investigación, después de determinar que la naríz electrónica era capaz de detectar el compuesto se validó el método midiendolo a distintas concentraciones, la figura 2 presenta los resultados del ensayo donde se emplearon concentraciones del compuesto dialil disulfuro en solución, con un nivel de representatividad de 45,02%, las muestras se agruparon ordenadamente según cada concentración (0, 0,1 y 700 mg/ml), mientras que la solución que no contiene el compuesto (S0) se agrupa en otro sector del plano, comprobando con esto la efectividad del método en la detección de dialil disulfuro, a este ensayo preliminar se lo puede comparar con los ensayos que realizaron Lozano et al. (2004) donde utilizando una nariz electrónica identificaron aromas en variedades de vinos blancos y tintos con resultados que reflejaron una separación completa de las muestras en el diagrama de componentes principales de los distintos compuestos químicos analizados.

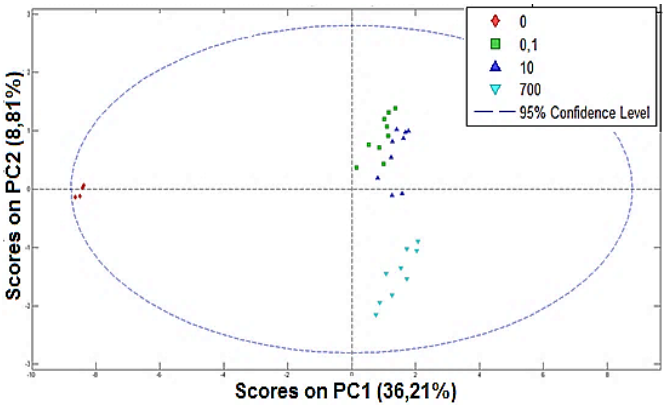


Figura 2. Análisis de componentes principales frente a compuestos de dialil disulfuro (DADS) en concentración de 0,1 mg/ml, 10 mg/ml y 700 mg/ml y muestra blanco de acetonitrilo que no contiene el compuesto de interés

3.2 Diseño experimental

Los estudios relacionados con el desarrollo de sensores de la nariz electrónica se realizan en determinadas zonas de medida (dinámica, estable o en conjunto), generalmente se mide directamente en la zona inicial dinámica por razones de tiempo y por el tipo de muestra o producto utilizado (Moreno et al. 2009). El análisis de zonas en esta investigación lo podemos comparar con en el análisis de Paredes et al. (2016) donde realizaron una implementación y evaluación de una naríz electrónica para la detección de alcoholes lineales, en la fase experimental tuvieron como resultado que la mejor zona para su análisis fue la zona estable, en el presente estudio el DADS a distintas concentraciones tuvo una respuesta positiva al interactuar con los sensores y podemos realizar análisis en todas las zonas de medida, se realizaron análisis con todos los datos obtenidos para determinar que zona arroja los mejores resultados, en las figuras 3, 4 y 5 tenemos el comportamiento de las muestras por cada zona, en el análisis de componentes principales se separaron las muestras que tienen puerta molecular (sin olor) de las que tienen tienen el compuesto (con olor) en las secciones A y B respectivamente.
El análisis de la zona dinámica tiene un nivel de representatividad de 50,63% este es el más bajo de los análisis propuestos, el estudio en conjunto de las dos zonas obtuvieron una representatividad mayor de datos con 56,16%, mientras que la zona estable resultó la más adecuada para continuar con el análisis de los resultados con un porcentaje de 59%. Estos resultados se asemejan a la investigación propuesta por Durán et al. (2012) donde realizaron su análisis en los valores obtenidos en la zona estable para identificar y corroborar diferencias mediante el aliento de pacientes sanos y pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica con una nariz electrónica. La Figura 3 muestra los datos de la zona estable, observamos la muestra blanco (S0) en la zona A, en esta zona se ubican todos los sólidos cargados con puerta, tanto el G47 y el carboxilato, mientras que en la zona B están ubicados

todos los sólidos cargados sin puerta (S1) a distintas concentraciones, los sólidos cargados sin puerta a concentración 0,01 están juntos en la parte derecha, los de concentración 1 se ubican en la mitad y los de 10 se ubican en la parte izquierda. Los sensores de la nariz detectaron y clasificaron cada concentración de menor a mayor de derecha a izquierda, este resultado lo podemos contrastar y validar con la investigación realizada por Osorio et al. (2012) donde el análisis PCA logró identificar claramente muestras de quesos almacenados a diferentes temperaturas a lo largo de distintos tiempos de almacenamiento medidos por una naríz electrónica.

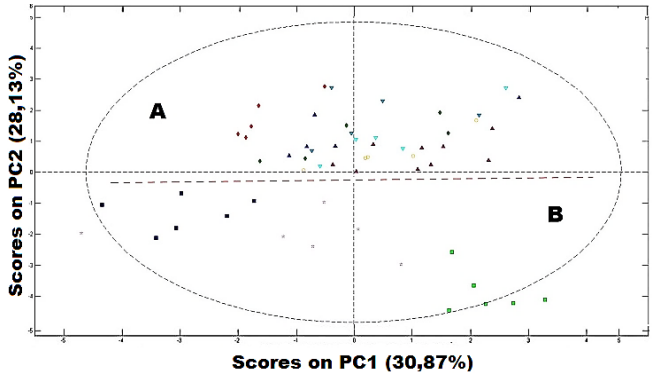
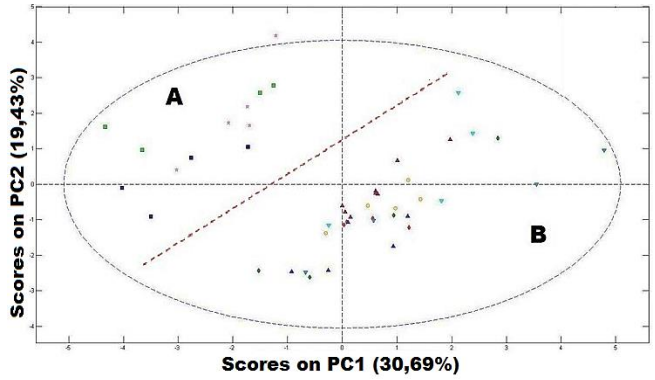
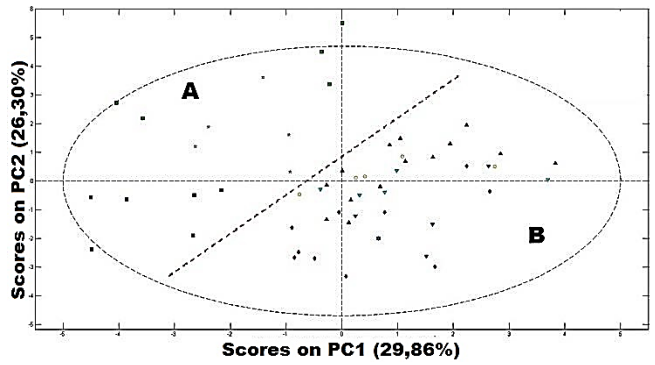


Figura 3. Análisis de los datos obtenidos en Zona Estable (sección A muestras con puertas moleculares vs sección B muestras sin enmascaramiento) .



. ***Figura 4.*** Análisis de datos obtenidos en Zona dinámica (Sección A muestras sin enmascaramiento vs sección B muestras con puertas moleculares)



. ***Figura 5.*** Análisis de datos obtenidos en Zona dinámica (Sección A muestras sin enmascaramiento vs sección B muestras con puertas moleculares)

Después de analizar la zona estable con todas las muestras del estudio, se compararon individualmente las muestras (S2) y (S3) para ver la respuesta de componentes principales confrontandolas con los sólidos (S0) y (S1).

3.3 Estudio de los Sólidos S0 y S1 con S2 y S3

En la Figura 6 se puede observar como la disposición de los clusters de cada muestra se ubica de manera distinta, la muestra blanco está independiente en la parte izquierda de la zona A y a su lado se ubican las muestras recubiertas con la puerta G47 (sin olor) cargadas con una concentración de dialil disulfuro a 10, 1 y 0,01 mg/ml consecutivamente. Mientras que los sólidos cargados sin puerta (con olor) se ubican distantes de los demás y de una manera ordenada según su concentración, empezando en la parte izquierda de la zona B con el de mayor siguiendo así su curso de ordenación a la derecha. El porcentaje de representación de los datos es de 63,54% indicando un buen nivel de concordancia de los resultados como sucedió en el estudio de evaluación de la calidad de mora a través de una naríz electrónica realizado por Carvajal et al. (2012) donde se evidenció mediante el análisis PCA la evolución del proceso de degradación de la mora ubicando muestras distintas en diferentes lugares del diagrama.

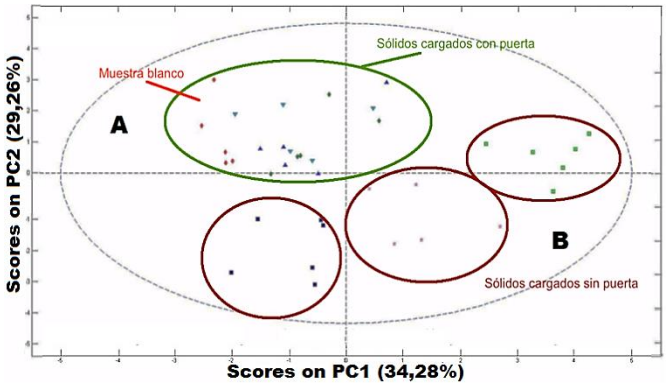


Figura 6. Análisis de componentes principales frente a sólido vacío (S0), sólidos cargados con puerta G47 (S3) a concentración de 0,01-1-10 mg/ml y sólidos cargados sin puerta (S1) a concentración de 0,01-1-10 mg/ml.

La figura 7 muestra la respuesta de la puerta de carboxilato (sin olor), ésta gráfica tiene un nivel de representación de los datos del 59,59%. Se observa la muestra blanco en la sección A junto a los sólidos cargados con puerta (S2), los sensores no detectaron el olor del compuesto DADS con puertas moleculares y los ubicaron independientemente de su concientración. Los sólidos que desprenden volatilidad a distintas niveles se ubican en la sección B ordenados de una manera uniforme de derecha a izquierda de menor a mayor concentración.

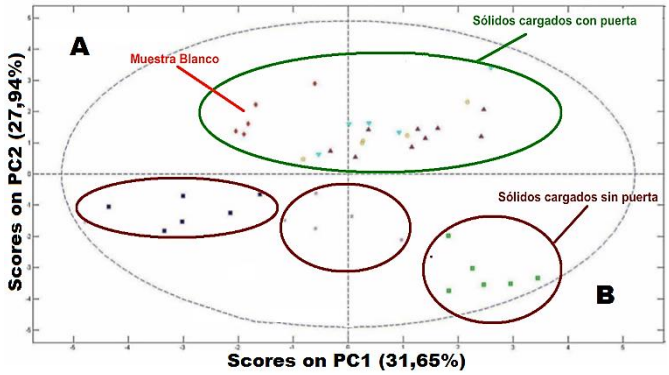


Figura 7. Análisis de componentes principales frente a sólido vacío (S0), sólidos cargados con puerta de carboxilato (S2) a concentración de 0,01-1-10 mg/ml y sólidos cargados sin puerta (S1) a concentración de 0,01-1-10 mg/ml.

4. CONCLUSIONES

Se desarrolló un método de medición empleando una nariz electrónica que fue capaz de no solo detectar, sino de distinguir tres concentraciones de dialil disulfuro (principal componente organosulfurado en el desarrollo de olor del ajo), que pudieron ser diferenciadas también de un grupo de muestras blanco, que no contenían dicho compuesto.

Tras el análisis en las distintas zonas durante la medición, se determinó que la zona estable es la que arroja mejores resultados comparándola con la zona dinámica y el análisis de las dos zonas juntas, ya que muestra un buen nivel de representación de los datos y de ordenamiento de los clusters.

Se observó que los sensores de la nariz electrónica empleada, logran diferenciar las muestras que no tienen el sistema de puertas moleculares anclado, (que desprenden el olor del compuesto encapsulado en su interior) de los sólidos recubiertos con las distintas puertas.

Se identificó una asociación de las muestra blanco (sólidos vacíos, sin carga de DADS y sin puertas), con las muestras cargadas y recubiertas por el sistema de puertas (S2 y S3), propuesto como dispositivo de enmascaramiento de olor.

Con el posterior desarrollo de esta investigación se puede pensar en encapsular dialil disulfuro y así poderlo utilizar como materia prima en la elaboración de alimentos que usualmente no lo puedan contener como ingrediente.

REFERENCIAS

Acosta, C., Pérez-Esteve, E., Fuenmayor, C., Benedetti, S., Cosio, M., Soto, J., Sancenón, F., Mannino, S., Barat, J., Marcos, M., y Martínez-Máñez, R. (2014). Polymer coposites containing gated Mesoporous materials for on-command controlled release. Applied Materials and interfaces. 6 (9), 6453-6460.

Ardila, M., Vargas, A., Pérez, J., y Mejía, L. (2009). Ensayo preliminar de la actividad antibacteriana de extractos de Allium sativum, Coriandrum sativum, Eugenia Caryophyllata, Origanum vulgare, Rosmarinus officinalis y Thymus vulgaris frente a Clostridium perfringens. Biosalud, 8(3), 47-57.

Bernardos, A. (2011). Desarrollo y Síntesis de Materiales Híbridos, para la Liberación Controlada de Moléculas Bioactivas. (Tesis doctoral) Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Bernardos, A., Aznar, E., Coll, C., Martínez, R., Barat. J. M., Dolores. Ma., Sancenón. F., Benito.A., y Soto, J. (2008). Controlled release of vitamin B2 using mesoporous materials functionalized with amine-bearing gate-like scaf- foldings. Journal of Controlled Release, 131(3), 181-189.

Block, E. (1985). Química del ajo y la cebolla. Revista Investigación y Ciencia, 104(1), 99-104.

Cabrera, S., El Haskouri, J., Guillem, C., Latorre, J., Beltrán-Porter, G., Marcos, M., y Amorós, P. (2000). Generalised syntheses of ordered mesoporous oxides: the atrane route. Solid State Sci, 2(4), 405-420.

Casasús, R. (2009). Diseño de Puertas Moleculares Controladas a Nivel Nanoscópico. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Coll, C., Bernardos, A., Martínez-Manez, R., y Sancenón, F. (2013). Gated Silica Mesoporous Supports for Controlled Release and Signaling Applications. Acc Chem Res, 46(2), 339-349.

Descalzo, A. (2008) Síntesis y estudio de derivados de 3H-fenoxazin-3-ona y Aminometilantraceno en disolución y soportados sobre sólidos mesoporosos tipo MCM-41 para su aplicación como sensores moleculares ópticos. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Díaz, L., y Jimenez, K. (2008). Validación de un Método de Extracción de Alicina en Ajo y su Cuantificación por HPLC. Simposio de Metrólogia, 1066(1), 1-6.

Durán, C. (2013). Optimización de una nariz electrónica a través de un método de selección de variables. El Hombre y la Máquina, 41(1), 56-63.

Durán Acevedo, C. M., Velásquez Carvajal, A. E., y Gualdron Guerrero, O. E. (2012). Implementación de una nariz electrónica para detectar pacientes con EPOC desde el aliento exhalado. Ingeniería y Desarrollo, 30(2), 143-159.

Fellenz, N., Bengoa, J., Marchetti, J., y Gervasini, S. (2012). Influence of the Brönsted and Lewis Acid Sites on the Catalytic Activity and Selectivity of fe/mcm-41 System. Applied Catalysis A General, 435(1),187-196.

Fulder, D., y Blackwood, J. (1997). El ajo: Un remedio natural. México DF, México: Ediciones Étoile, S.A de C.V.

García, J., y Sánchez, F. (2000). Efectos cardiovasculares del ajo (Allium sativum). Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 50(3), 219-229.

Gardner, W. (1991). Detection of vapors and odors from a multisensor array using pattern recognition. Part 1. Principal component and cluster analysis. Sensors and Actuators B: Chemical, 4(1-2),109-115.

Jackson, J. (1981). Principal Component and Factor Analysis: Part 1-Principal components. Journal of Quality Technology, 12(13), 201-213.

Kresge, C., Leonowicz, M., Roth, W., Vartuli, J., y Beck, J. (1992). Ordered mesoporous molecular sieves synthesized by a liquid-crystal template mechanism. Nature, 359(1), 710-712.

Lewandowski, D., Olejnik, A., y Schroeder, G. (2014). Adsorption studies and release of selected dyes from functionalized mesoporous MCM-41 silica. Central European Journal of Chemistry, 12(2), 233-241.

Llinàs, M. C., y Sánchez-García, D. (2014). Nanopartículas de sílice: preparación y aplicaciones en biomedicina. Afinidad, 71(565), 20-31.

López, M. (2007). El ajo Propiedades farmacológicas e indicaciones terapéuticas. Offarm, 26(1), 78-81.

Lozano, J., Arroyo. T., Santos, J., Cabellos, J., y Horrillo, M. (2008). Electronic Nose for Wine Ageing Detection. Sensors and Actuators B: Chemical, 133(1), 180-186.

Lozano, J., Santos, J. P., Aleixandre, M., y Horrillo, M. (2004). Identificación de aromas en vinos blancos y tintos mediante sensores de estado sólido. XXV Jornadas de automatic, 1-5.

Merino, M. (2010). Superficies químicamente modificadas para la detección colorimétrica y eliminación de aniones de interés medioambiental en aguas. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Moreno, I., Caballero, R., Galán, R., Matía, F., y Jiménez, A. (2009). La nariz electrónica: Estado del arte. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI, 6(3), 76-91.

Oroval, M., Climent, E., Coll, C., Erijta, R., Aviñó, A., Marcos, M., Sancenón, F., Martínez-Máñez, R., y Amorós, P. (2013). An Aptamer-Gated Silica Mesoporous Material for Thrombin Detection. Chem Commun, 49(48), 5480-5482.

Osorio, D. P., Novoa, C. F., y Gutiérrez, L. F. (2012). Determinación de la viabilidad de la nariz electrónica en la predicción de la vida útil del queso doble crema. Alimentos. Alimentos hoy, 21(26), 26-42.

Paredes-Doig, A. L., Sun Kou, M. D. R., Picasso-Escobar, G., Doig-Camino, E., y Comina, G. (2016). Implementation and evaluation of an electronic nose for the alcohols detection. Revista Colombiana de Química, 45(2), 12-18.

Quintero, V. (1993). Evaluación de leguminosas arbustivas en la alimentación de conejos. Livestock Research for rural development, 5(3).

Rodriguez, M. (2001). Análisis Sensorial de Alimentos. Nariz Electrónica. Anales de la Real Sociedad Española de Química, 2(1), 10-18.

Trujillo, H. A., Viera, R. R., y López, A. H. (2004). Ajo: consideraciones sobre sus propiedades farmacológicas y terapéuticas. Medicentro Electrónica, 8(1).

Vallet-Regi, M.,Rámila, A., Del Real, R., y Pérez-Pariente, J. (2001). A New Property of MCM-41: Drug Delivery System. Chem. Mater, 13(2), 308–311.

Roberto Orodoñez. Ingeniero de Alimentos en la Universidad Tecnológica Equinoccial de Quito-Ecuador, Máster en Gestón y Seguridad Alimentaria en la Universidad Politécnica de Valencia en España. En todos sus estudios a obtenido becas de excelencia académica. Profesional en el área de alimentos procesados y de la industria cervecera. Actualmente docente catedrático en la Universidad Agraria del Ecuador en la carrera Ingeniería Agrícola mención Agroindustrial donde también participa en la redacción de artículos y en la dirección programas de seguridad alimentaria para la comunidad.

José Manuel Barat. Ingeniero Agrónomo y Doctor en Ciencia y Tecnología de los Alimentos en la Universidad Politécnica de Valencia en España. Actualmente Director Académico del Grado en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la UPV y miembro del Editorial Board de la Revista "Journal of Food Engineering". Se ha desempeñado como Miembro del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN), Representante nacional en la Red para la Evaluación de Riesgos de la Nanotecnología en alimentos y piensos de la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y Coordinador de la Red Nacional de Nanotecnología y Alimentación de la AECOSAN.

Metodología para la Determinación de Pesticidas Organoclorados mediante Cromatografía de Gases Acoplado Espectrometría de Masas y Detector de Captura de Electrones

Mendieta, Claudia J. [1], Ortega, Nicole A.[2], Solano-Cueva, Natalí.[3], Figueroa, Jorge G.[3*]

[1]Universidad Técnica Particular de Loja, Titulación de Ingeniería Química, Loja, Ecuador
[2]Universidad Técnica Particular de Loja, Titulación de Ingeniero en Alimentos, Loja, Ecuador
[3]Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Química y Ciencias Exactas, Loja, Ecuador
e-mail: jgfigueroa@utpl.edu.ec

Resumen: El uso de pesticidas en Ecuador es muy amplio y las concentraciones utilizadas son superiores a los límites máximos permitidos. Las agencias que controlan este tipo de compuestos no cuentan con tecnología sofisticada como tiempo de vuelo, utilizando el mismo equipo para distintos análisis. Por esta razón, en algunos casos dos columnas son instaladas simultáneamente, lo que podría llegar a ser un problema con la temperatura máxima que se puede utilizar. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una metodología que permita cuantificar 32 pesticidas organoclorados mediante cromatografía de gases utilizando los detectores de captura de electrones y espectrometría de masas con temperatura reducida. Se evaluaron diferentes condiciones de rampa de temperatura, fase estacionaria, temperatura del inyector, flujo del gas de arrastre, flujo de purga y tipo de inyección. Únicamente la temperatura del inyector y el flujo del gas de arrastre no tuvieron efecto sobre el área de los picos. Empleando la columna DB5-ms y una misma rampa de temperatura, se pudieron separar 24 pesticidas. Pese a que se emplearon distintos gradientes de temperatura, tres pares de pesticidas compartieron el mismo tiempo de retención, pero aplicando el monitoreo de iones seleccionados se logró identificarlos. El coeficiente de determinación de las curvas de calibración fue mayor a 0,99. Los límites de detección encontrados fueron menores a los límites máximos permitidos.

Palabras clave: Cromatografía de gases, pesticidas organoclorados, validación.

Development of a Method for the Quantification of Organochlorine Pesticides by GC-ECD-MS

Abstract: In Ecuador the use of pesticides has been a problem due to the concentrations used are higher than the maximum allowable limits. The agencies that control this type of compounds do not have sophisticated technologies like tandem mass spectrometry or time of flight, and use the same equipment for different analysis. For these reason sometimes two columns are installed simultaneously, which consequently can be a problem with the maximum temperature that can use. The aim of this work was to develop a methodology to quantify 32 organochlorine pesticides by gas chromatography using electron capture detector and mass spectrometry with a low oven temperature. Different conditions of temperature ramp, stationary phase, injector temperature, carrier gas flow, purge flow and injection mode were evaluated. Only injector temperature and carrier gas flow had no effect on the peak area. Using a DB5-ms column and the same temperature ramp, 24 pesticides were separated. Although different oven temperature programs were tested, three pairs of pesticides shared the same elution time, but the identification was achieved using selected ion monitoring mode. The correlation coefficient of the calibration curves was greater than 0,99. The detection limits found were lower than the maximum residue levels allowed.

Keywords: Gas chromatography, organochlorine pesticides, validation.

1. INTRODUCCIÓN

Los pesticidas organoclorados (OCLs) son contaminantes orgánicos persistentes que han sido ampliamente utilizados desde 1950 para proteger los cultivos de las plagas (Li, et al., 2014; Moon, et al., 2009; Soceanu, et al., 2012; Wu, et al., 2014). La evidencia del peligro producido por ellos en el medio ambiente y la salud se ha demostrado en las últimas décadas (Florax, et al., 2005; Pimentel, 2005), dada a la aplicación de técnicas analíticas de separación.

Para garantizar que los alimentos, piensos y agua sean inocuos y aptos para el consumo, las comisiones reguladoras internacionales han establecido límites máximos de residuos (LMRs) (Dömötörová & Matisová, 2008; Xu, et al., 2013). En Ecuador, muchas organizaciones agrícolas están preocupadas por el impacto de estos compuestos, ya que no existen mecanismos para controlar su uso adecuado (Crissman, et al., 1994; Donald C, et al., 2002; Hurtig, et al.,

jgfigueroa@utpl.edu.ec
Recibido: 13/03/2017
Aceptado: 23/10/2017
Publicado: 31/10/2017

2003; Paz-y-Miño, et al., 2002), a pesar de los cambios citogenéticos demostrados en los agricultores tras la exposición a estos compuestos tóxicos. Inclusive si los pesticidas son aplicados con buenas prácticas agrícolas (BPA), pueden dejar residuos que pueden causar efectos nocivos para la salud y el medio ambiente, aún si se encuentran en concentraciones muy bajas (Masci, et al., 2014; Štěpán, et al., 2005).

Los análisis de OCLs pueden llevarse a cabo por cromatografía de gases acoplada con detector de captura de electrones (GC/ECD), ofreciendo una alta eficiencia de separación y una mayor selectividad (Goñi, et al., 2009; Rial-Otero, et al., 2007). Por otro lado, esta técnica carece de poder de identificación. Pese a que existen técnicas más rápidas como tándem MS, tiempo de vuelo o trampa MS de iones, estos requieren de materiales y equipos costosos (Peré-Trepat, et al., 2007) y las instituciones privadas e inclusive las organizaciones gubernamentales no lo poseen. La cromatografía de gases acoplada con espectrometría de masas (GC-MS) es la técnica de análisis más utilizada para el análisis de residuos de pesticidas (Alder, et al., 2006; Matisová & Dömötörová, 2003). Detecta los analitos de interés a través de la selección de iones específicos determinados con el monitoreo de iones seleccionados (LeDoux, 2011), proporcionando información selectiva y sin interferencia espectral (Cajka, et al., 2008; Hernández, et al., 2006).

Un método accesible para controlar la materia prima en Ecuador tiene que ser certificado, por consiguiente, el objetivo de este trabajo es desarrollar y validar un procedimiento analítico rápido, sensible y selectivo para la identificación y cuantificación residual de una mezcla multicomponente de OCLs que son comúnmente utilizados en la actividad agrícola ecuatoriana.

2. METODOLOGÍA

2.1 Químicos y estándares analíticos

La mezcla certificada multicomponente de pesticidas organoclorados MIX 13 del Dr. Ehrenstorfer MIX 13 Augsburg (Germany): Aldrin, *cis*-Clordana (alfa), *trans*-clordano (gama), oxyclordano, 2,4'-DDD, 4,4'-DDD, 2,4'-DDE, 4,4'-DDE, 2,4'-DDT, 4,4'-DDT, Dieldrin, Endrin, alfa-Endosulfan, beta-Endosulfan, alfa-HCH, beta-HCH, gamma-HCH, delta-HCH, epsilon-HCH, Heptacloro, Heptacloro-exo-epóxido (*cis*-, isómero B), Heptacloro-endo-epóxido (*trans*-, isómero A), Hexaclorobenceno, Isodrin, Metoxicloro, Mirex, 2,4,4'-Triclorobifenilo, 2,2',5,5'-Tetraclorbifenilo, 2,2',4,5,5'-Pentaclorobifenilo, 2,2',3,4,4',5'-Hexaclorobifenilo, 2,2',4,4',5,5'-Hexaclorobifenilo, 2,2',3,4,4',5,5'-Heptaclorobifenilo fueron analizados. Todas las disoluciones fueron almacenadas en la oscuridad a 4ºC, protegidas de la luz y dejadas por 1 hora a temperatura ambiente antes de su uso.

2.2 Equipo

Un cromatógrafo de gases Agilent 6890N equipado con dos detectores diferentes, un espectrómetro de masa AGILENT 5973 y un detector de captura de electrones, además de un inyector automático AGILENT 7683. La separación de los picos fue analizada en dos columnas capilares con fase estacionaria diferente, una columna DB-5ms (0,25 mm x 30 m x 0,25 µm) de polímero fenil arileno equivalente a (5%-fenil)-metilpolisiloxano y una columna DB-35ms (0,25 mm x 30 m x 0,25 µm) equivalente a (35%- fenil)-metilpolisiloxano. Helio (99,999%) y nitrógeno (99,999%) fueron utilizados como gas portador y gas auxiliar respectivamente, ambos provenientes de la empresa AGA.

2.3 Condiciones del GC-MS

Las siguientes condiciones se evaluaron: Quince rampas de temperatura fueron probadas para el horno, tres temperaturas del inyector (230, 250 y 280°C), dos tiempos de saturación del solvente en el inyector (1 y 2 min), dos flujo de gas de arrastre (1 y 2 mL/min), tres flujo de purga (5 mL/min @ 1 min, 5 mL/min @ 0 min y 10 mL/min @ 1 min), tres modos de inyección (pulsed split 15 psi @ 2 min, 30 psi @ 2 min y una en modo splitless).

La influencia de cada factor se analizó por experimentación monofactor y las mejores condiciones instrumentales se seleccionaron en términos de resolución y abundancia relativa.

El detector de espectrometría de masa con impacto electrónico de 70 eV fue operado en modo SIM (monitoreo de ion(es) selectivo), el voltaje del multiplicador de electrones se fijó en 1480V. Las temperaturas de la fuente de iones y la línea de transferencia fueron ajustadas a 230 y 260°C, respectivamente. Cada compuesto fue identificado a través de la comparación con la biblioteca Wiley7n. El programa usado fue MSD ChemStation Build 26 Agosto 2003 de Copyright © Agilent Technologies 1989-2003.

Metodologías distintas fueron probadas en modo de barrido total SCAN y dos pruebas mediante el modo de detección de iones seleccionados SIM. El detector universal operado en modo full SCAN permitió la identificación y el análisis del espectro de masas, mientras con el detector específico operado en modo SIM se seleccionaron tres iones característicos de cada uno, para su análisis confirmatorio.

Una vez seleccionadas las condiciones, las muestras se inyectaron mediante el detector selectivo de captura de electrones con los siguientes parámetros: 250°C; Constant column + makeup flow; flujo combinado de 60 mL/min y nitrógeno como makeup gas.

2.4 Validación del método

El análisis de precisión se realizó mediante la determinación del coeficiente de variación y la linealidad de las curvas de calibración por el coeficiente de determinación. Para el espectrómetro de masas, seis diferentes concentraciones del

pesticida MIX-13 fueron preparadas (0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 0,75 y 1 mg · L^{-1}), por triplicado (repetibilidad) en tres días diferentes (reproducibilidad), mientras que para el detector de captura de electrones, se inyectaron cinco concentraciones (0,05; 0,25; 0,5; 0,75 y 1 mg · L^{-1}) con tres repeticiones de cada uno en un solo día.

Para la determinación de los límites de detección (LDD) y cuantificación (LDC), la concentración más baja que dio una señal diferente al del ruido se inyectó nueve veces en tres días diferentes, la señal media (Ys) y desviación estándar (Ss) se calcularon. La señal mínima detectable se calculó con la Ecuación (1):

$$Y = Ys + 3 * Ss \quad (1)$$

El LDD se calculó a través de la Ecuación (2) lineal procedente de la curva de calibración:

$$LDD = \frac{Y - intersección}{pendiente} \quad (2)$$

El LDC se calculó usando la misma Ecuación (2), pero Y se calculó mediante la Ecuación (3):

$$Y = Yb + 10 * S \quad (3)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de desarrollo del método inició con la optimización de los parámetros instrumentales, enfocándose en tres elementos principales del sistema cromatográfico: El sistema de inyección, de separación y de detección.

En análisis de trazas como en la detección de pesticidas, el modo de inyección splitless es el más usado, dado al incremento de la sensibilidad (Chasteen, s. f.). Yang, et al. (2007) dentro de su estudio evaluaron el modo de inyección, siendo el modo pulsed splitless el que mostró mejor resultado. Tras comparar los modos de inyección, se determinó que el modo splitless ofrece una mayor abundancia de los picos cromatográficos que las dos pruebas realizadas en modo pulsed split, mas no existió efecto en la resolución de los picos cromatográficos. Por ejemplo el compuesto 2,4,4'- Triclorobifenilo en modo splitless tiene un área 25% mayor que las otras pruebas utilizando pulsed split. La resolución entre el 2,4,4'- Triclorobifenilo y delta-HCH fue 3,4, 3,3 y 3,5 usando splitless, pulsed split 15 psi y pulsed split 30 psi respectivamente.

Según Stashenko y Martínez (2011), la temperatura del inyector tiene que ser identificada para asegurar la volatilidad de todos los compuestos y la no degradación de los mismos. La temperatura se programó en un rango de 230 a 280℃ para impedir la ruptura de la mayoría de los compuestos termolábiles (Martínez Vidal, et al., 2000). Aunque la temperatura del inyector es útil para aumentar las áreas cromatográficas; en este caso, se demostró que no existió ninguna diferencia en la resolución y la abundancia de los picos. La temperatura seleccionada fue de 250°C. El tiempo de saturación del solvente en el inyector (1 y 2 min) tampoco mostraron diferencia, siendo 1 min el tiempo seleccionado.

Tras seleccionar el modo de inyección, se evaluaron tres pruebas del flujo de purga: 5 mL/min (1 min), 5 mL/min (0 min) y 10 mL/min (1 min). Los resultados mostraron que utilizando 5 mL/min (1 min) se exhibió mayor área cromatográfica, seguido por 5 mL/min (0 min). Para el caso del 2, 2´, 4, 4´, 5, 5´-hexaclorobifenilo, al usar el primer flujo se logró áreas dos y cuatro veces mayores que usando el segundo y tercer flujo.

Al analizar la diferencia entre el flujo de gas de arrastre (1 y 2 mL/min) no se encontró mayor diferencia basándonos en resolución cromatográfica, por lo que se seleccionó 1 mL/min, permitiendo un ahorro significativo en el consumo de gas.

Comparando las dos columnas, una columna DB-5ms y una columna DB-35ms, se determinó que la primera columna expone ligeramente una mayor abundancia, mejor resolución y además de lograr una mayor identificación en el número de compuestos. Con la columna DB-35 ms se logró determinar que nueve de los treinta y dos compuestos coeluyen: epsilon-HCH con 2,2',5,5'-tetraclorbifenilo y con aldrin; 2,4'–DDE con 2,2',4,5,5'-pentaclorobifenilo; 4,4'–DDD con 2,4'–DDT; 2,2',3,4,4',5'-hexaclorobifenilo con 4,4'–DDT. Con la columna DB-5 ms coeluyen ocho compuestos: oxi-clordano con heptacloro-exo-epóxido; cis-clordano con alfa-endosulfan; 4,4'–DDD con 2,4'–DDT; 2,2',3,4,4',5'-hexaclorobifenilo con 4,4'–DDT.

Con el fin de separar todos los OCLs, se probaron quince programas de temperatura del horno, centrándose en la eficiencia de la separación de los picos y tiempo de ejecución; siendo la programación de horno de la columna: 70°C (durante 2 min) → 120°C (25°C/min) → 220°C (8°C/min, durante 10 min) → 250°C (25°C/min, durante 7 min).

Las condiciones instrumentales empleadas en esta metodología permitieron la identificación de veinticuatro pesticidas organoclorados, pues ocho de los treinta y dos presentes en el PESTICIDE MIX-13 coeluyen (ver Figura 1). Para la separación de los compuestos que compartieron el mismo tiempo de elución, se realizaron dos pruebas mediante SIM con los iones cualificantes de cada compuesto. En la primera corrida se seleccionaron los iones de oxi-clordano (115, 187 y 149), cis-clordano (373, 375 y 377) y de 4,4'–DDT (235, 237 y 165) y para la segunda se trabajó con los iones de heptacloro-exo-epóxido (353, 355 y 351); alfa-endosulfan (241, 239 y 195); y, de 2,2',3,4,4',5'-hexaclorobifenilo (360, 362 y 290). La Figura 2 muestra los cromatogramas obtenidos con la metodología en las dos pruebas SIM, en la que se aprecian las abundancias de dichos compuestos.

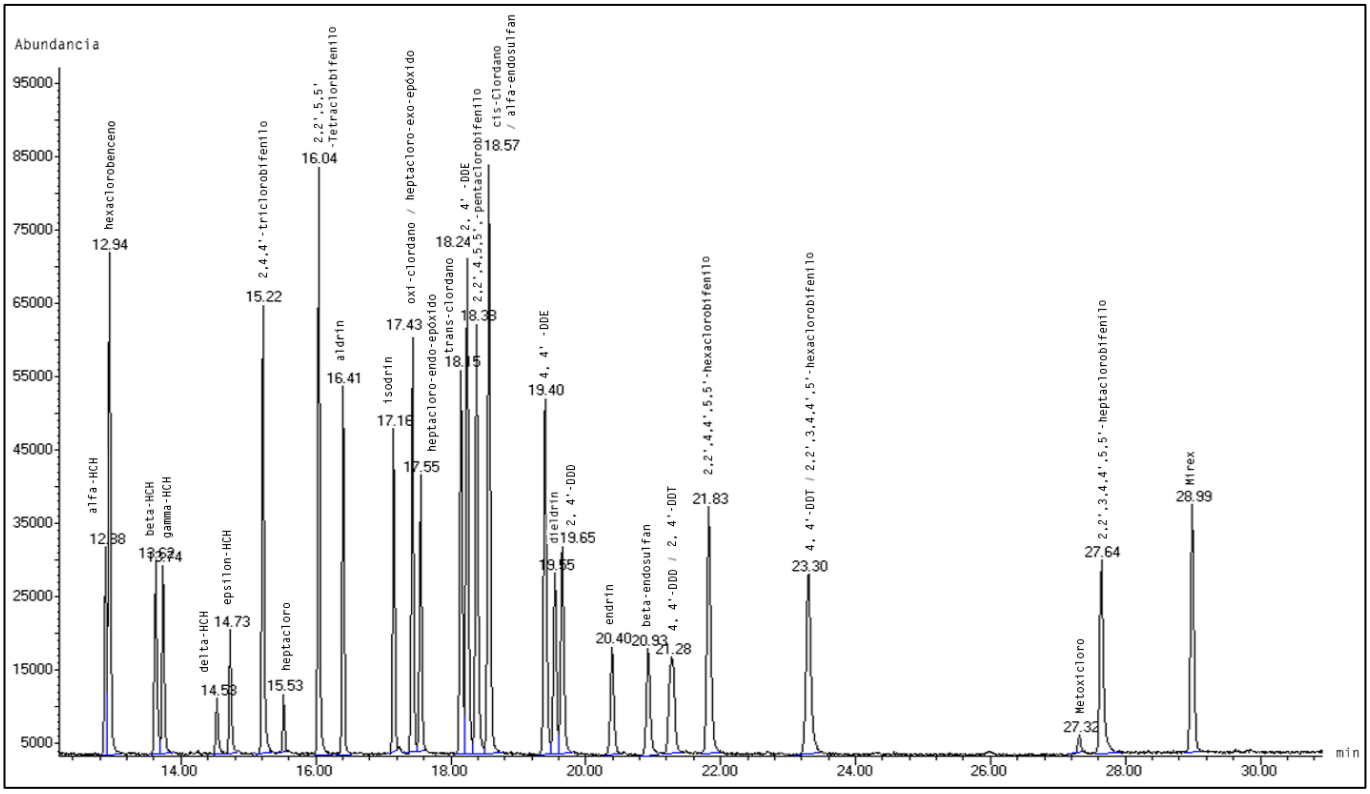


Figura 1. *Cromatograma con las condiciones seleccionadas*

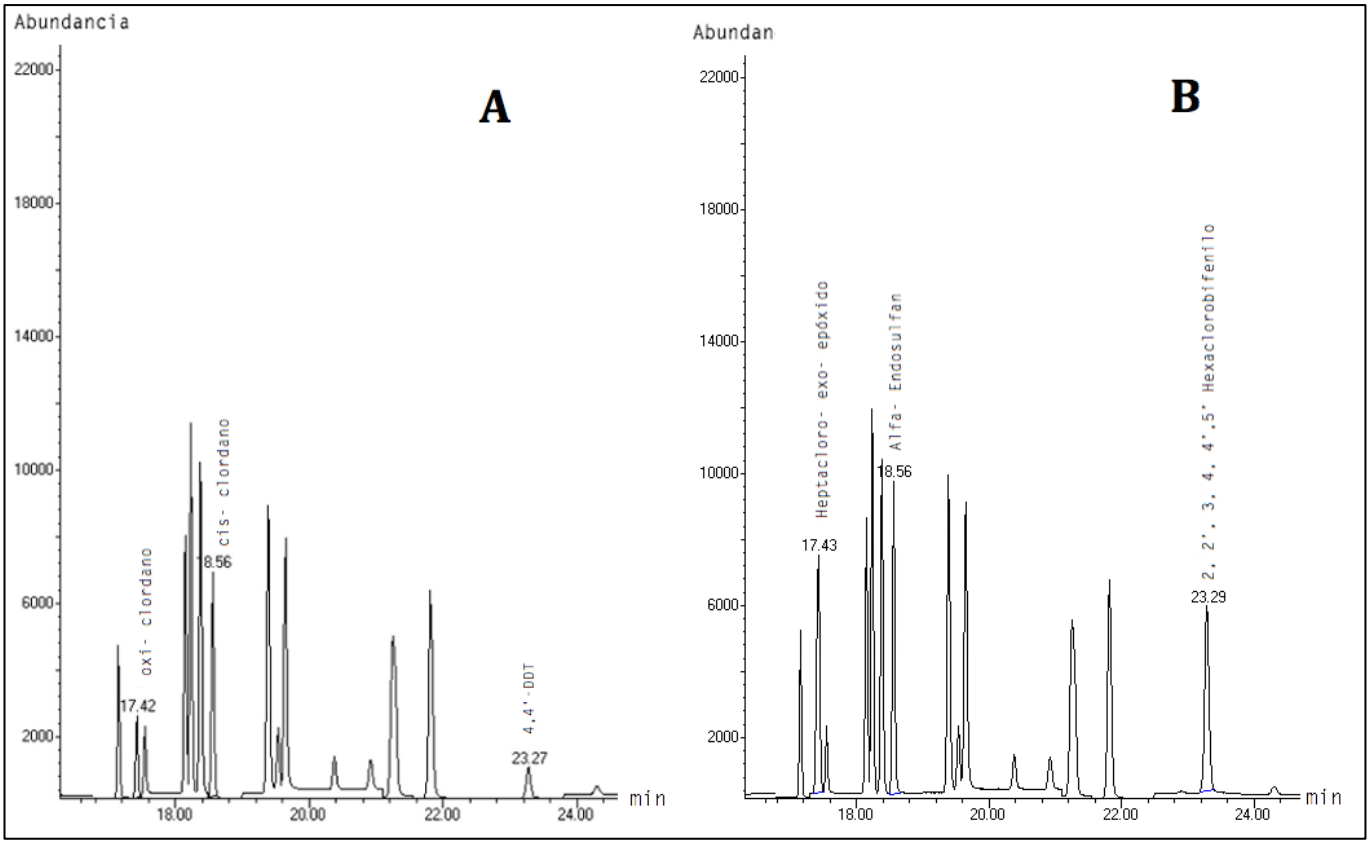


Figura 2. *Grupos en modo SIM.* ***A)****. Grupo 1: Clordano, cis- clordano y 4,4'-DDT* ***B)****. Grupo 2: Heptacloro-exo-epóxido, alfa- endosulfan y 2, 2', 3, 4, 4' 5' - Hexaclorobifenilo*

Tabla 1. Tiempo de retención, coeficiente de determinación, pendiente e intersección conseguidos con las condiciones seleccionadas

Pesticida	Detector	TR(min)	Coeficiente determinación	Pendiente (L/mg)	Intersección
Alpha-HCH	MS	12,89	0,997 ± 0,001	55 ± 2	-23 ± 5
	ECD	13,98	0,999 ± 0,001	152 ± 3	-6 ± 7
Hexaclorobenceno	MS	12,94	0,999 ± 0,001	154 ± 4	-13 ± 14
	ECD	14,05	1,000 ± 0,000	104 ± 2	7 ± 5
beta-HCH	MS	13,63	0,994 ± 0,003	53 ± 23	1 ± 20
	ECD	14,70	0,998 ± 0,001	67 ± 1	-13 ± 3
gamma-HCH	MS	13,74	0,995 ± 0,002	59 ± 1	-21 ± 10
	ECD	14,84	0,997 ± 0,001	115 ± 2	-44 ± 4
delta-HCH	MS	14,53	0,991 ± 0,005	21 ± 1	-26 ± 6
	ECD	15,37	0,996 ± 0,002	11 ± 1	7 ± 2
epsilon- HCH	MS	14,73	0,995 ± 0,003	36 ± 3	-15 ± 7
	ECD	15,61	0,997 ± 0,001	101 ± 2	-31 ± 6
2,4,4´-Triclorobifenilo	MS	15,22	0,998 ± 0,001	142 ± 3	-56 ± 15
	ECD	15,82	0,998 ± 0,000	65 ± 1	-10 ± 2
Heptacloro	MS	15,53	0,999 ± 0,001	15 ± 1	2 ± 2
	ECD	16,29	0,999 ± 0,001	34 ± 1	6 ± 3
2, 2´,5,5´-Tetraclorobifenilo	MS	16,05	0,999 ± 0,001	165 ± 4	-48 ± 14
	ECD	16,63	0,999 ± 0,000	55 ± 2	-17 ± 4
Aldrin	MS	16,41	0,998 ± 0,001	100 ± 3	-40 ± 10
	ECD	17,15	0,999 ± 0,001	16 ± 1	5 ± 3
Isodrin	MS	17,16	0,998 ± 0,002	94 ± 4	-35 ± 7
	ECD	17,61	0,999 ± 0,001	152 ± 3	18 ± 5
Heptacloro-endo-epóxido (*trans*-, isómero A)	MS	17,56	0,995 ± 0,003	98 ± 3	-62 ± 16
	ECD	18,84	0,999 ± 0,001	227 ± 4	3 ± 7
Trans-Clordano	MS	18,15	0,998 ± 0,001	131 ± 5	-54 ± 13
	ECD	18,98	0,999 ± 0,001	138 ± 2	2 ± 3
2, 4´-DDE	MS	18,25	0,998 ± 0,001	186 ± 5	-87 ± 18
	ECD	19,72	0,999 ± 0,001	146 ± 3	-5 ± 6
2,2´,4,5,5´-Pentaclorobifenilo	MS	18,39	0,999 ± 0,001	169 ± 3	-59 ± 12
	ECD	19,76	0,999 ± 0,000	81 ± 2	5 ± 4
4,4'-DDE	MS	19,40	0,996 ± 0,002	150 ± 5	-84 ± 14
	ECD	20,23	0,999 ± 0,001	257 ± 5	31 ± 11
Dieldrin	MS	19,55	0,999 ± 0,001	69 ± 7	-18 ± 5
	ECD	21,21	0,999 ± 0,001	147 ± 3	-1 ± 6
2,4'-DDD	MS	19,66	0,999 ± 0,001	69 ± 8	-20 ± 5
	ECD	21,42	0,999 ± 0,000	136 ± 3	13 ± 4
Endrin	MS	20,39	0,995 ± 0,003	41 ± 10	-1 ± 6
	ECD	21,48	0,999 ± 0,000	102 ± 1	3 ± 3
beta-Endosulfan	MS	20,93	0,994 ± 0,003	49 ± 7	-20 ± 7
	ECD	22,51	1,000 ± 0,000	56 ± 2	-7 ± 7
2,2',4,4',5,5'-Hexaclorobifenilo	MS	21,83	0,997 ± 0,001	142 ± 5	-64 ± 13
	ECD	23,52	0,998 ± 0,000	157 ± 2	-25 ± 4
Metoxicloro	MS	27,32	0,995 ± 0,005	9 ± 1	-2 ± 4
	ECD	27,78	0,997 ± 0,003	5 ± 0	5 ± 2
2,2',3,4,4',5,5'-Heptaclorobifenilo	MS	27,65	0,993 ± 0,004	102 ± 6	-91 ± 14
	ECD	28,17	0,996 ± 0,001	30 ± 1	-10 ± 4
Mirex	MS	28,99	0,996 ± 0,002	116 ± 5	-47 ± 9
	ECD	29,29	0,998 ± 0,000	62 ± 1	-1 ± 3

TR: Tiempo de Retención

Para MS: Pendiente x 10 000, Intersección x 1000

Para ECD: Pendiente x 1E+08, Intersección x 1E+07

Tabla 2. Límites de detección y cuantificación para MS y máximos límites de residuos para alimentos y agua de consumo

Pesticida	LMRs		Límite de Detección (MS)		Límite de Cuantificación (MS)	
	Cereales (ppm)	Agua (ppb)	Alimentos (ppm)	Agua (ppb)	Alimentos (ppm)	Agua (ppb)
alfa-HCH	0,2 [c3]	-	0,006	0,097	0,01	0,146
Hexaclorobenceno	0,01[b]	1[a]	0,005	0,069	0,008	0,113
beta-HCH	0,2 [c3]	-	0,008	0,113	0,019	0,284
gamma-HCH	0,01[b]	0,2[a]	0,007	0,104	0,012	0,176
delta-HCH	0,2 [c3]	-	0,021	0,319	0,028	0,415
epsilon-HCH	0,2 [c3]	-	0,01	0,144	0,013	0,195
2,4,4'-Triclorobifenilo	-	0,5[a2]	0,006	0,086	0,008	0,125
Heptacloro	0,01[b3]	0,4[a]	0,006	0,084	0,01	0,143
2,2',5,5'-Tetraclorobifenilo	-	0,5[a2]	0,005	0,081	0,008	0,12
Aldrin	0,01[b4]	0,03[c2]	0,006	0,095	0,01	0,147
Isodrin	-	-	0,006	0,085	0,007	0,111
oxy-Clordano		0,2[c2]	0,009*	0,132*	0,016*	0,237*
Heptacloro-exo-epóxido (*cis*-, isómero B)	0,01[b3]	0,2[a1]	0,009*	0,132*	0,016*	0,237*
Heptacloro-endo-epóxido (*trans*-, isómero A)	0,01[b3]	0,2[a1]	0,008	0,119	0,012	0,181
trans-Clordano (gamma)	0,02[c1]	0,2[c2]	0,006	0,093	0,009	0,14
2, 4'-DDE	-	-	0,006	0,088	0,009	0,128
2,2',4,5,5'-Pentaclorobifenilo	-	0,5[a2]	0,006	0,085	0,009	0,129
cis-Clordano (alfa)	0,02[c1]	0,2[c2]	0,006*	0,097*	0,010*	0,148*
alfa-Endosulfan	0,05[b2]	-	0,006*	0,097*	0,010*	0,148*
4, 4'–DDE	0,05[b1]	1[c2]	0,006	0,095	0,008	0,122
Dieldrin	0,01[b4]	0,03[c2]	0,006	0,09	0,01	0,146
2, 4'–DDD	-	-	0,006	0,094	0,011	0,165
Endrin	0,01[b]	2[a]	0,008	0,117	0,014	0,206
beta-Endosulfan	0,05[b2]	-	0,007	0,11	0,01	0,149
4, 4'–DDD	0,05[b1]	1[c2]	0,014*	0,211*	0,023*	0,348*
2, 4'-DDT	0,05[b1]	1[c2]	0,014*	0,211*	0,023*	0,348*
2,2',4,4',5,5'-Hexaclorobifenilo	-	0,5[a2]	0,006	0,093	0,008	0,12
4, 4'–DDT	0,05 [b1]	1[c2]	0,013*	0,189*	0,020*	0,305*
2,2',3,4,4',5'-Hexaclorobifenilo	-	0,5 [a2]	0,013*	0,189*	0,020*	0,305*
Metoxicloro	2[c]	40 [a]	0,024	0,355	0,037	0,549
2,2',3,4,4',5,5'-Heptaclorobifenilo	-	0,5 [a2]	0,012	0,179	0,017	0,254
Mirex	-	-	0,006	0,095	0,008	0,126

[a] La Agencia de Protección Medioambiental (EPA) establece máximo nivel de contaminantes para sustancias tóxicas en agua de consumo. Disponible en http://water.epa.gov/drink/contaminants/index.cfm#one

[a1] Valores referidos a heptacloro epóxido

[a2] Valores referidos a Bifenilos policlorados

[b] LMRs establecidos por la Unión Europea. Disponible en http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/?event=pesticide.residue .selection&language=EN

[b1] Sum of p,p´-DDT, o,p´-DDT, p-p´-DDE and p,p´-TDE (DDD) expressed as DDT

[b2] Suma de isómeros alfa- y beta- y endosulfan-sulfato expresados como endosulfan

[b3] Suma de heptacloro y heptacloro epóxido expresado como heptacloro

[b4] Aldrin y dieldrin combinados expresados como dieldrin

[c] LMRs establecidos por la Fundación Japonesa de Investigación en Química de Alimentos. Disponible en http://www.m5.ws001.squarestart.ne.jp /foundation/search.html

[c1] LMRs para clordano están establecidos como la suma de los residuos de *cis*-clordano y *trans*-clordano en productos agrícolas

[c2] Valores fijados para agua mineral (agua mineral natural y aguas de consumo envasadas/embotelladas)

[c3] Suma de isómeros del BHC, a excepción de isómero gamma

* Límites de detección y cuantificación están expresados como la suma de los compuestos que comparten el mismo tiempo de retención

Al co-eluir y poseer los mismos iones característicos (235, 237 y 165), el 4,4'–DDD y 2,4'–DDT no pudieron ser identificados mediante SIM, más recurriendo a un ajuste en la rampa de temperatura: 70°C (durante 2 min) → 190°C (25°C/min) → 235°C (8°C/min) → 250°C (30°C/min, durante 10 min),se logró una separación con 0,67 de resolución; en contraste, los compuestos restantes redujeron su abundancia e inclusive algunos pesticidas no fueron identificados.

La precisión entre ensayos para la mayoría de los compuestos es muy buena en los tres días de análisis, dado a que el coeficiente de variación se encuentra por debajo del 14%, lo cual nos indica la reproducibilidad del método. Únicamente para el caso del beta-HCH, 2,4'-DDD y endrin, este parámetro tiene valores superiores, por lo que se podría optar por utilizar un estándar interno.

La linealidad del método fue probada por ECD y MS mediante el ajuste lineal entre el área de los picos frente a la concentración correspondiente para generar la curva de calibración. La respuesta del detector MS fue lineal en el intervalo de 0,05 a 1 mg L^{-1}, a excepción de beta-HCH con un intervalo de 0,05 a 0,75 mg · L^{-1}, delta-HCH desde 0,25 a 1 mg · L^{-1}, epsilon-HCH de 0,1-0,75 mg · L^{-1}, metoxicloro desde 0,25 a 1 mg · L^{-1} y 2,2 ', 3,4,4', 5,5'-heptaclorobifenilo de 0,1 a 1 mg · L^{-1}. Para ECD, las concentraciones analizadas fueron 0,05; 0,25; 0,5; 0,75 y 1 mg · L^{-1}, todas ellas con un coeficiente de determinación superior a 0,99 (ver Tabla 1).

Este método puede utilizarse como análisis de control de calidad dado que la LDD y LDC fueron inferiores a los niveles máximos de residuos de alimentos y de agua establecidos por organismos reguladores (ver Tabla 2). Sólo para el aldrin y el dieldrin este método no sería apropiado para evaluar en agua de consumo.

4. CONCLUSIONES

La metodología desarrollada permitió la identificación de veinticuatro compuestos organoclorados en la misma serie cromatográfica a través del empleo de un detector de captura de electrones y un análisis confirmatorio por espectrometría de masas. En el caso de 4,4'-DDD y 2,4'-DDT, que coeluyen y poseen los mismos iones característicos, se realizó un ajuste en la rampa de temperatura, con lo cual se logró una resolución de 0,67.

La eficiencia del método fue demostrado por la obtención de un coeficiente de variación menor al 14% y un coeficiente de determinación mayor a 0,99; siendo este método una herramienta accesible para controlar los pesticidas en el Ecuador.

REFERENCIAS

Alder, L., Greulich, K., Kempe, G., & Vieth, B. (2006). Residue analysis of 500 high priority pesticides: Better by GC–MS or LC–MS/MS? *Mass Spectrometry Reviews, 25*(6), 838-865.

Cajka, T., Hajslova, J., Lacina, O., Mastovska, K., & Lehotay, S. J. (2008). Rapid analysis of multiple pesticide residues in fruit-based baby food using programmed temperature vaporiser injection–low-pressure gas chromatography–high-resolution time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Chromatography A, 1186*(1–2), 281-294.

Crissman, C. C., Cole, D. C., & Carpio, F. (1994). Pesticide use and farm worker health in Ecuadorian potato production. *American Journal of Agricultural Economics, 76*(3), 593-597.

Chasteen, T. G. (s. f.). Split/ Splitless gas chromatography injection. In). Texas: Sam Houston State University.

Dömötörová, M., & Matisová, E. (2008). Fast gas chromatography for pesticide residues analysis. *Journal of Chromatography A, 1207*(1–2), 1-16.

Donald C, C., Sherwood, S., Crissman, C., Barrera, V., & Espinosa, P. (2002). Pesticides and health in highland Ecuadorian potato production: Assessing impacts and developing responses. *International Journal of Occupational and Environmental Health, 8*(3), 182-190.

Florax, R. J. G. M., Travisi, C. M., & Nijkamp, P. (2005). A meta-analysis of the willingness to pay for reductions in pesticide risk exposure. *European Review of Agricultural Economics, 32*(4), 441-467.

Goñi, F., López, R., Etxeandia, A., Millán, E., Vives, A., & Amiano, P. (2009). Method for the determination of selected organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in human serum based on a gel permeation chromatographic clean-up. *Chemosphere, 76*(11), 1533-1539.

Hernández, F., Pozo, O. J., Sancho, J. V., Bijlsma, L., Barreda, M., & Pitarch, E. (2006). Multiresidue liquid chromatography tandem mass spectrometry determination of 52 non gas chromatography-amenable pesticides and metabolites in different food commodities. *Journal of Chromatography A, 1109*(2), 242-252.

Hurtig, A. K., Sebastián, M. S., Soto, A., Shingre, A., Zambrano, D., & Guerrero, W. (2003). Pesticide Use among Farmers in the Amazon Basin of Ecuador. *Archives of Environmental Health: An International Journal, 58*(4), 223-228.

LeDoux, M. (2011). Analytical methods applied to the determination of pesticide residues in foods of animal origin. A review of the past two decades. *Journal of Chromatography A, 1218*(8), 1021-1036.

Li, J., Liu, D., Wu, T., Zhao, W., Zhou, Z., & Wang, P. (2014). A simplified procedure for the determination of organochlorine pesticides and polychlorobiphenyls in edible vegetable oils. *Food Chemistry, 151*(0), 47-52.

Martínez Vidal, J. L., Pablos Espada, M. C., Garrido Frenich, A., & Arrebola, F. J. (2000). Pesticide trace analysis using solid-phase extraction and gas chromatography with electron-capture and tandem mass spectrometric detection in water samples. *Journal of Chromatography A, 867*(1–2), 235-245.

Masci, M., Orban, E., & Nevigato, T. (2014). Organochlorine pesticide residues: An extensive monitoring of Italian fishery and aquaculture. *Chemosphere, 94*(0), 190-198.

Matisová, E., & Dömötörová, M. (2003). Fast gas chromatography and its use in trace analysis. *Journal of Chromatography A, 1000*(1–2), 199-221.

Moon, H.-B., Kim, H.-S., Choi, M., Yu, J., & Choi, H.-G. (2009). Human health risk of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides resulting from seafood consumption in South Korea, 2005–2007. *Food and Chemical Toxicology, 47*(8), 1819-1825.

Paz-y-Miño, C., Bustamante, G., Sánchez, M. E., & Leone, P. E. (2002). Cytogenetic monitoring in a population occupationally exposed to pesticides in Ecuador. *Environmental Health Pespectives, 110*(11), 1077-1080.

Peré-Trepat, E., Lacorte, S., & Tauler, R. (2007). Alternative calibration approaches for LC–MS quantitative determination of coeluted compounds in complex environmental mixtures using multivariate curve resolution. *Analytica Chimica Acta, 595*(1–2), 228-237.

Pimentel, D. (2005). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States'. *Environment, Development and Sustainability, 7*(2), 229-252.

Rial-Otero, R., Gaspar, E. M., Moura, I., & Capelo, J. L. (2007). Chromatographic-based methods for pesticide determination in honey: An overview. *Talanta, 71*(2), 503-514.

Soceanu, A., Dobrinas, S., Stanciu, G., Popescu, V., & Epure, D. T. (2012). Evaluation of pesticides residues in fresh fruits. *Revista de Chimie, 63*(5), 455-458.

Stashenko, E., & Martínez, J. R. (2011). Algunos consejos útiles para el análisis cromatográfico de compuestos orgánicos volátiles. *Scientia Chromatographica, 3*(3).

Štěpán, R., Tichá, J., Hajšlová, J., Kovalczuk, T., & Kocourek, V. (2005). Baby food production chain: Pesticide residues in fresh apples and products. *Food Additives & Contaminants, 22*(12), 1231-1242.

Wu, C., Luo, Y., Gui, T., & Huang, Y. (2014). Concentrations and potential health hazards of organochlorine pesticides in shallow groundwater of Taihu Lake region, China. *Science of The Total Environment, 470–471*(0), 1047-1055.

Xu, M.-L., Liu, J.-B., & Lu, J. (2013). Determination and control of pesticide residues in beverages: a review of extraction techniques, chromatography, and rapid detection methods. *Applied Spectroscopy Reviews, 49*(2), 97-120.

Yang, F. Q., Li, S. P., Zhao, J., Lao, S. C., & Wang, Y. T. (2007). Optimization of GC–MS conditions based on resolution and stability of analytes for simultaneous determination of nine sesquiterpenoids in three species of *Curcuma* rhizomes. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 43*(1), 73-82.

Claudia J. Mendieta. Posee graduación en Ingeniería Química por la Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, Maestría Profesional en Ingeniería de Biocombustibles y Petroquímica, con énfasis en Biocombustibles, por la Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil. Actualmente es estudiante de Doctorado en Procesos Químicos y Bioquímicos en la Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil. Sus líneas de investigación son: Análisis Cromatográfico de Pesticidas en Flores y Aguas; Análisis, Producción y Caracterización de Microalgas para Producción de Biomasa, Ácidos Grasos, Pigmentos y Biocombustibles. Sus áreas de actuación son: Ingeniería Química, Procesos Bioquímicos y Ecología Industrial.

Nicole A. Ortega. Estudió Ingeniería en Alimentos en la Universidad Técnica Particular de Loja en el tema de aprovechamiento de subproductos de la industria alimentaria como fuente de antioxidantes. Becario y técnico de investigación en la UTPL en la línea de revalorización de subproductos agroindustriales como fuente de compuestos bioactivos. Línea investigativa de interés: Métodos analíticos para la cuantificación de antioxidantes, microencapsulación de compuestos bioactivos, formulación y desarrollo de alimentos con compuestos bioactivos.

Natalí Solano-Cueva. Máster en "Ciencias y Tecnologías Químicas, KHEMIA" de la Universidad de Granada - España. Ingeniera Química de la Universidad Técnica Particular de Loja. Sus áreas de investigación son: Colorantes naturales como sensibilizadores de celdas solares, Determinación de tocoles y antioxidantes en aceites vegetales, Cuantificación de minerales y metales pesados en varias matrices, Cuantificación de pesticidas y Determinación de biofenoles mediante HPLC. Forma parte desde Abril 2016 hasta la fecha, del Comité de Acceso a Recursos Biológicos y Genéticos de la UTPL. En la actualidad se desempeña en el cargo de docente e investigador del Departamento de Química y Ciencias Exactas de la UTPL.

Jorge G. Figueroa. Ingeniero en Industrias Agropecuarias de la Universidad Técnica Particular de Loja – Ecuador. *Magister Scientiae* en Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Perú. Máster en Gestión de la Formación de la Universidad de Sevilla - España. Candidato a Doctor en Química por la Universidad de Granada – España. Sus áreas de investigación son valorización de subproductos de la industria alimentaria como fuente de compuestos bioactivos. Evaluación in-vitro del efecto de la digestión gastro-intestinal. Caracterización de compuestos volátiles. Cuantificación de pesticidas y minerales en alimentos y agua. Se ha desempeñado como coordinador de la Titulación de Ingeniería de Alimentos de la UTPL (2012 - Ene 2015). En la actualidad se desempeña en el cargo de docente e investigador del Departamento de Química y Ciencias Exactas de la UTPL.

Estabilización Química y Mecánica de la Lutita Orteguaza del Campo Tiputini en la Cuenca Oriente

Almeida, David[1]

[1]*PETROAMAZONAS EP, Gerencia de Perforación, Quito, Ecuador*

Resumen: En la perforación de pozos de petróleo, uno de los mayores problemas a nivel mundial se presenta al tratar de mantener la estabilidad del hoyo cuando se atraviesa formaciones de lutita. En el campo Tiputini de la Cuenca Oriente se observaron problemas con la lutita de Orteguaza que no se había experimentado en otros campos de la misma Cuenca.

Pruebas de laboratorio fueron realizadas a las muestras tomadas de los primeros pozos, para determinar si la inestabilidad de esta lutita era de origen mecánico, químico, o una mezcla de ambas. Los estudios arrojaron que la lutita de esta formación, en este campo, y en esta plataforma, presenta micro fracturas, las mismas que debieron ser selladas para estabilizarla, al perforarla con fluidos base agua.

Palabras clave: lutita, Orteguaza, estabilización, micro fractura.

Mechanical and Chemical Stabilization of Orteguaza Shale at Tiputini Field on the Oriente Basin

Abstract: One of the biggest problems encountered when drilling oil wells, is how to keep shale stabilization when drilled with water based muds. Problems that had not been observed before, while drilling the Orteguaza formation at the Oriente Basin, were experienced while drilling this formation at Tiputini Field.

Laboratory tests were performed on samples taken from the first wells drilled, in order to determine if the instability origin of this shale, when exposed to water based mud, is mechanical, chemical, or both. Studies determined that the Orteguaza formation Shale at this Field, and at this pad, is micro fractured. These fractures had to be sealed in order to be able to drill this rock safely, with water based muds.

Keywords: shale, Orteguaza, stabilization, micro fracture.

1. INTRODUCCIÓN

En la perforación de pozos de petróleo, uno de los mayores problemas a nivel mundial se presenta al tratar de mantener la estabilidad del hoyo cuando se atraviesa una formación de lutita.

Los pozos perforados en la cuenca Oriente no son la excepción. En la mayoría de la cuenca, los problemas de inestabilidad se presentan principalmente en las lutitas de la formación Napo. Sin embargo, al este de la cuenca, en el área Tiputini, se presentan problemas de inestabilidad con mayor impacto en la lutita de Orteguaza.

Desde el inicio de la campaña de perforación en la plataforma Tiputini C, con la perforación del pozo exploratorio TPTC-002, se evidenció inestabilidad en la lutita de Orteguaza. Esta lutita es somera (aproximadamente de 800 m de profundidad vertical), si se compara con las profundidades a las que se encuentra en el centro de la cuenca (alrededor de 1500 m de profundidad vertical).

david_almeida@petroamazonas.gob.ec
Recibido: 04/07/2017
Aceptado: 23/10/2017
Publicado: 31/10/2017

En la perforación de los siguientes pozos de la plataforma Tiputini C, la lutita de Orteguaza mostró un comportamiento inusual en la cuenca Oriente. Grandes pedazos de lutita recubierta por cortes de arcillolita, fueron recuperados en las zarandas al perforarse con un fluido a base de agua.

Los problemas se agravaron conforme la inclinación de los pozos aumentaba, generando atrapamiento de la sarta y empaquetamiento durante la perforación, y en especial en los viajes de salida del ensamblaje de fondo.

La perforación a través de formaciones lutíticas puede resultar en una variedad de problemas que van desde hoyos apretados o lavados, hasta el completo colapso del hoyo. Este problema se agrava en pozos de alta inclinación (Tan, C., et al, 2002), como los que se perforan en el área Tiputini.

Las razones para la inestabilidad de la lutita son mecánicas y químicas. Los problemas mecánicos incluyen flujo plástico o deformación de lutitas suaves, fractura y deshojamiento a lo largo de planos en lutitas duras, colapso de lutitas fracturadas en hoyos desviados, estallido de lutitas en zonas sobrepresurizadas. Los problemas químicos incluyen hidratación, dispersión, y solución (Nesbitt, L., et al, 1985).

Tratando de entender la inestabilidad de estas formaciones, se han realizado estudios para determinar las formas predominantes de transporte de agua en las lutitas; encontrando que el mecanismo dominante es el flujo originado por diferencial de presión (entre la cara del pozo y la presión de poro), por encima de la difusión o de la ósmosis (Ballard, T., et al, 1994). Por ello, se han propuesto soluciones que permitan prevenir la propagación de presión a través de los poros de la lutita, con aditivos en el fluido de perforación (Carminati, S., et al, 2000).

Por otro lado, particular atención debe prestarse a las arcillas, que son los componentes de este tipo de rocas más influenciados por iones. Los minerales arcillosos en lutitas, a veces no son adecuadamente tratados con productos químicos y generan inestabilidad por su expansión o hinchamiento en presencia de agua (Carman, P., et al, 2010).

En este caso particular, diferentes pruebas debieron llevarse adelante con muestras recuperadas de los pozos para determinar soluciones definitivas al problema de inestabilidad.

Soluciones aplicadas en otras partes del mundo, como la utilización de fluidos de perforación a base de aceite, no son consideradas en Ecuador por cuestiones ambientales. Por tanto, debió encontrarse soluciones químicas y mecánicas para ser empleadas con fluidos a base de agua.

Este artículo muestra los estudios que se realizaron para caracterizar adecuadamente la lutita de Orteguaza de la Plataforma Tiputini C, desde el punto de vista de su estabilidad en perforación, y las soluciones planteadas para eliminar los problemas observados en los primeros pozos.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La campaña de perforación en Tiputini inició con la perforación del pozo vertical exploratorio TPTC-002, y continuó con pozos de desarrollo buscando alcanzar en el tiempo los puntos más distantes de la estructura.

La Figura 1 muestra la selección de los objetivos durante la campaña de perforación, mapeados al tope de la arenisca M1, que es el objetivo geológico en este campo.

Como se puede observar, conforme avanzaba la campaña, al distanciarse más los objetivos, se tenía la necesidad de realizar pozos de mayor inclinación y tangentes largas, situación perfecta para complicar la perforación en presencia de formaciones inestables, como es el caso de la lutita encontrada en la formación Orteguaza.

Por ello, desde el inicio se buscó caracterizar adecuadamente las formaciones que presentaban potencial de desestabilización, y en las que se observaban problemas durante la perforación.

Los pozos de esta plataforma, se ubican al oeste de una falla regional, que atraviesa de norte a sur el campo.

Durante la perforación del pozo vertical TPTC-002, se observó en superficie retornos de roca lutita desprendida, proveniente de la formación Orteguaza. Esto generó una primera alerta, pues en la Cuenca no era común observar estos desprendimientos en esta formación.

Por otro lado, mientras se perforaron los pozos direccionales TPTC-003 y TPTC-004 (baja inclinación) no se observaron

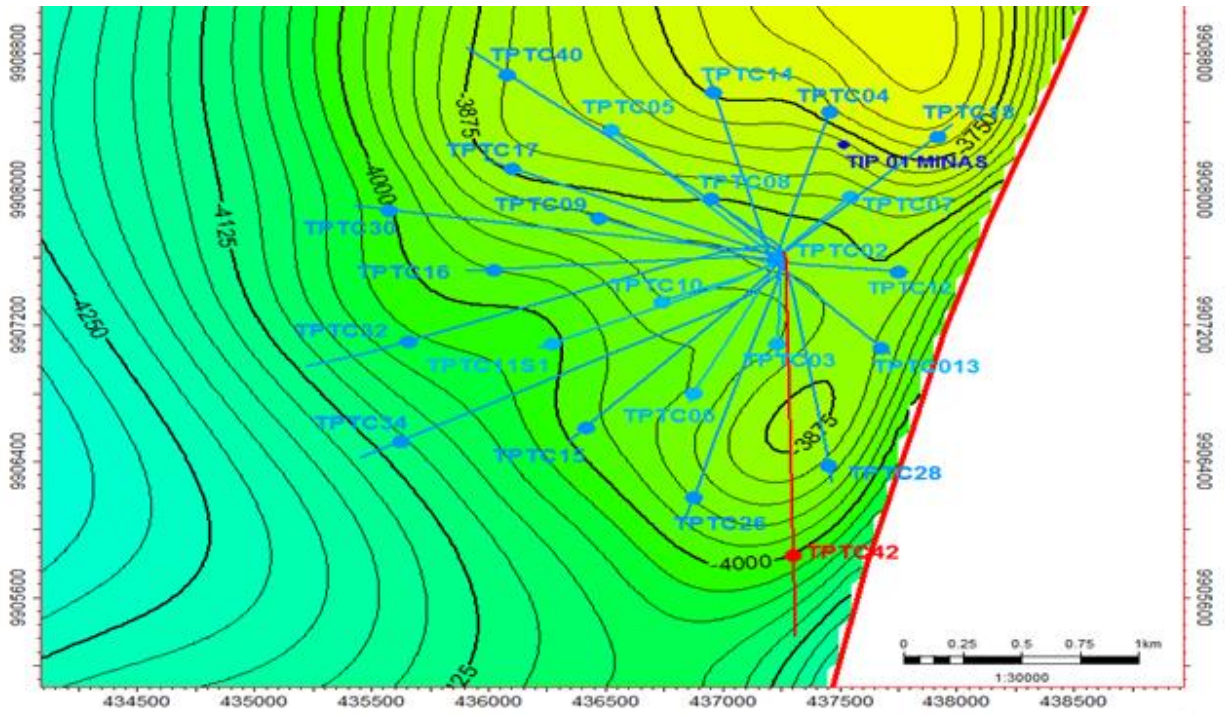


Figura 1. *Ubicación de los pozos de la plataforma Tiputini C en el mapa estructural al tope de la Arenisca M1*

retornos similares, aunque los viajes de tubería presentaron problemas de arrastre en Orteguaza. Sin embargo, durante la perforación TPTC-005 y TPTC-006 (de mayor inclinación), se experimentaron problemas en los viajes de tubería, empaquetamientos de la sarta de perforación, y retornos a superficie de grandes bloques de lutita, recubiertos de cortes plásticos de arcillolita de formaciones más someras. La formulación del fluido de perforación utilizado se muestra en la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1. Formulación del fluido de perforación.

Nombre Genérico del Producto	Función	Concentración (kg/m^3)
Barita	Densificante	256,50
Gilsonita + Glycol (líquido)	Inhibidor de lutita	5,13
Gilsonita (polvo)	Inhibidor de lutita	3,56
Surfactante orgánico	Surfactante	2,28
Almidón Látex	Sellador de lutita	3,71
Carbonato de calcio 100*	Puenteante	19,95
Carbonato de calcio 30**	Puenteante	19,95
Soda Cáustica	Control de pH	0,51
Amina cuaternaria	Inhibidor de arcilla	11,40
Sulfato de Potasio	Inhibidor de arcilla	5,00
Celulosa polianiónica	Control de filtrado	2,57
Poliacrilamida	Encapsulador	4,28
Lignosulfonato	Dispersante	2,85
Triazina	Biocida	0,80

*Carbonato de calcio de tamaño de partícula d50 < 73.85 µm
**Carbonato de calcio de tamaño de partícula d50 < 144.6 µm

Era evidente para ese momento que el fluido base agua que se estaba utilizando para la perforación de esa zona, y que no difería mucho del fluido usado en el resto de la Cuenca Oriente para las mismas formaciones, no brindaba estabilidad a esta lutita.

Por lo tanto, el problema planteado fue, caracterizar la lutita de Orteguaza, investigar las causas de su inestabilidad y buscar una solución química o mecánica que permitiera perforarla con un fluido base agua sin inconveniente.

En la siguiente sección se expone la metodología seguida para la realización de ese estudio y el establecimiento de las posibles soluciones.

3. METODOLOGÍA

Entendido el problema, fue necesario realizar varios análisis para caracterizar la lutita de Orteguaza.

Partiendo del hecho de que cada formación lutítica en los diferentes campos de una misma Cuenca, tienen variaciones en cuanto a su litología, composición y distribución mineralógica; y que estas deben ser evaluadas para determinar aplicaciones estándar en los campos (Carman, P., et al, 2010), se tomaron las muestras disponibles y se realizaron algunos estudios que permitieron determinar las causas del comportamiento observado en los primeros pozos perforados.

A continuación se detalla las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

3.1. Sometimiento de las muestras a contacto con agua.

Una muestra tomada del pozo TPTC-005 fue expuesta al agua para analizar su comportamiento. Un registro fotográfico se llevó adelante para ver la forma en que reaccionaba a este contacto. La Figura 2 muestra la secuencia de fotografías tomadas en un lapso total de cinco minutos de exposición.

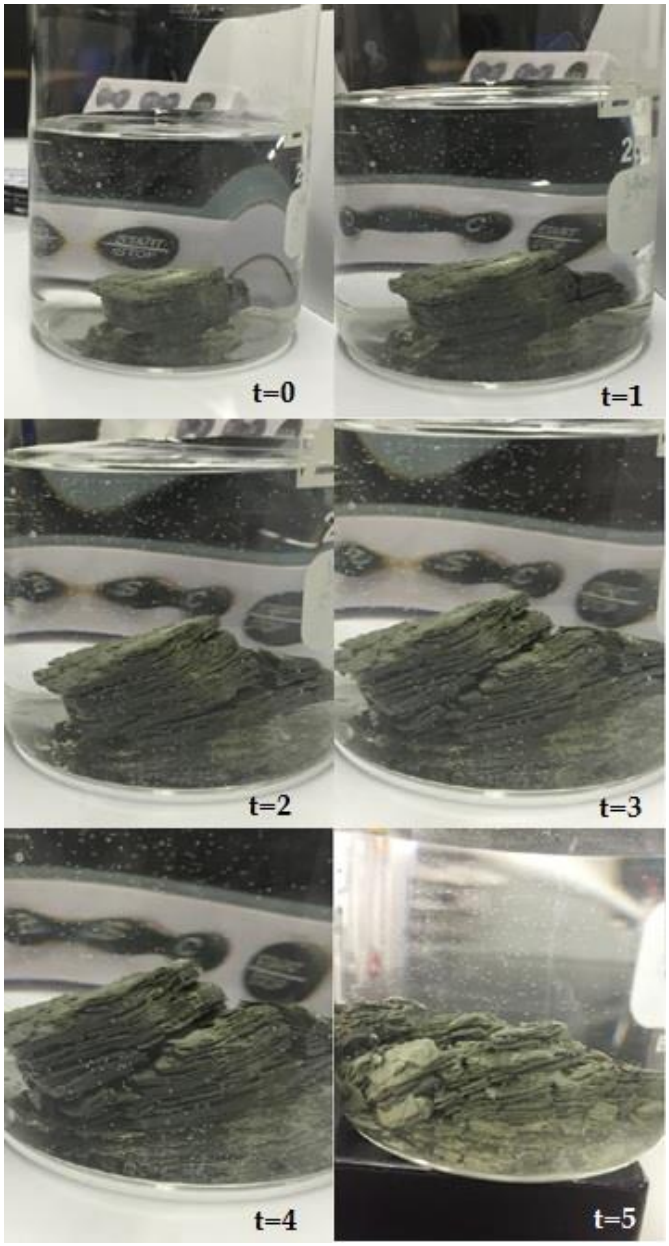


Figura 2. *Evidencia fotográfica de la reacción de la lutita de Orteguaza al ser expuesta al agua.*

Como se puede observar, en un lapso muy corto de tiempo de exposición al agua, la muestra tiende a separarse en láminas, y finalmente derrumbarse por efecto de la gravedad.

3.2. Observaciones mediante microscopio electrónico.

Buscando explicar la reacción observada en la exposición al agua, se realizaron observaciones simples bajo el microscopio electrónico, encontrando presencia de micro fracturas en los cuerpos analizados. El objeto de este análisis no fue determinar el tamaño de las micro fracturas, sino su simple presencia.

Una vez encontradas las micro fracturas, se sometieron las muestras de lutita a fluido de perforación elaborado en el laboratorio, con la misma formulación indicada en la Tabla 1, excepto que se incrementó la concentración de carbonato de calcio a 28.5 kg/m^3 de Carbonato de Calcio 100 y 28.5 kg/m^3 de Carbonato de Calcio 30. Las muestras fueron sumergidas en este fluido por 30 minutos y sometidas a agitación.

Esas mismas muestras fueron luego sometidas a observación del microscopio electrónico, encontrando que los espacios abiertos por las micro fracturas, fueron llenados por partículas de carbonato de calcio.

La Figura 3, muestra la presencia de micro fracturas previo a sumergir las muestras en el fluido de perforación, y luego de haber sido expuestas a este.

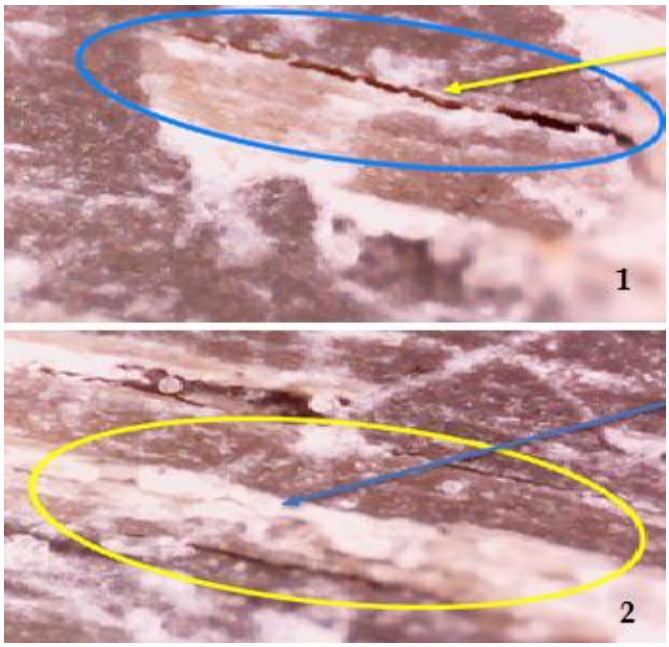


Figura 3. *Evidencia fotográfica de la presencia de micro fracturas en la lutita de Orteguaza (1); y del sello efectivo de las mismas con partículas de carbonato de calcio (2).*

3.3. Pruebas de hinchamiento lineal.

Una muestra del pozo TPTC-005 fue sometida a una prueba de intercambio catiónico (conocida como prueba de azul de metileno, o *MBT* por sus siglas en inglés) según la práctica API R 13. Mediante esta prueba simple, se buscó determinar la capacidad de absorción que tendría la lutita en presencia de agua.

Los resultados mostraron un poco común valor de *MBT* de 185,25 kg/m^3 (65 lb/bbl), cuando el valor esperado para esta formación era de alrededor de 57 kg/m^3 (20 lb/bbl).

Para corroborar lo encontrado con esta prueba simple, la muestra de lutita del pozo TPTC-005 fue finalmente expuesta a pruebas de medición de hinchamiento lineal. Para ello, se fabricaron dos pastillas de lutita, moliendo la roca y tamizándola a través de una malla #200. Diez gramos de lutita molida y tamizada fueron seleccionados para cada pastilla y colocada en una celda de compactación, aplicando 68 947 KPa (10 000 psi) de presión durante 30 minutos.

Ambas pastillas fueron colocadas en un equipo para medir el hinchamiento, sumergidas en diferentes fluidos. La primera fue sometida a agua pura, la segunda fue sometida a fluido de perforación según la formulación indicada en la Tabla 1.

El porcentaje de hinchamiento de cada pastilla en contacto con el respectivo fluido fue registrado en la gráfica que se muestra en la Figura 4.

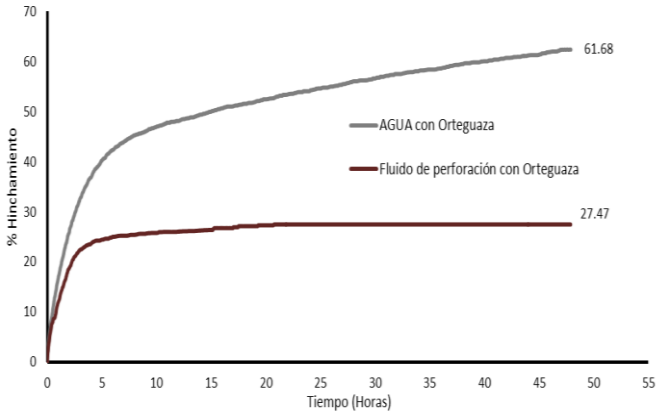


Figura 4. *Curva de hinchamiento lineal para la muestra expuesta a agua pura y a fluido de perforación.*

Como se puede observar, en presencia de agua la muestra tiende a hincharse significativamente y no logra estabilización aún después de 48 horas.

Por el contrario, la muestra en presencia de fluido de perforación logra estabilización a partir de la hora 20, y el porcentaje de hinchamiento se mantiene controlado por debajo del 30%.

3.4. Análisis de difracción de rayos X.

Buscando entender el comportamiento de la lutita de Orteguaza, se realizaron análisis de difracción de rayos X para caracterizar su mineralogía. Para ello, se usaron

muestras obtenidas de los pozos TPTC-005 y TPTC-006. Los resultados se exponen a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición mineralógica de la lutita de Orteguaza.

Mineral	% en muestra TPTC-005	% en muestra TPTC-006
Cuarzo	30	46
Muscovite	11	10
Grupo plagioclasa	5	2
Clinocloro	15	12
Caolinita	36	28
Illita	3	2

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

De las pruebas realizadas, se puede observar un comportamiento peculiar de la lutita de Orteguaza en este Campo.

El análisis de difracción de rayos X muestra un contenido de entre 42% y 54% de arcilla tipo caolinita, clorita (clinocloro) e illita. Estas arcillas, a diferencia de las esmectitas, por lo general son poco hinchables en presencia de agua (Pozo, M., 2008). Con solo esta prueba, era de suponer que no habría reacción significativa frente al agua. Sin embargo, cuando se sumergió la muestra en agua fresca, la fuerte y rápida reacción, contradice esta suposición.

Las observaciones bajo el microscopio electrónico mostraron la presencia de micro fracturas en las muestras, lo que puede deberse a la actividad y esfuerzos a los que están sometidas estas rocas sedimentarias, por la cercanía con la falla regional ubicada al límite Este del campo.

Las micro fracturas permiten el ingreso de agua a la roca, entre las láminas típicas de una lutita. Esto, sumado al efecto de la presión hidrostática y la presión adicional por efecto de la circulación, calculadas para mantenerse por encima de las presiones estimadas de poro de la formación, causa un efecto mecánico en la roca que hace que las láminas se separen, derrumbándose.

Por otro lado, las pruebas de medición de la capacidad de intercambio catiónico (*MBT*), como la prueba de hinchamiento lineal, mostraron una fuerte reactividad de los minerales componentes de la lutita al contacto con agua, a pesar de que, por lo general, estos minerales son poco susceptibles a hinchamiento en contacto con este fluido.

El efecto del hinchamiento agrava la situación de inestabilidad, cuando el agua penetra entre las láminas de la roca por la presencia de micro fracturas, lo que genera una presión adicional desde adentro y un efecto de estallido en la roca. Esto explica el comportamiento observado al sumergir la muestra de roca en agua.

Las micro fracturas fueron adecuadamente selladas mediante la circulación de una cantidad mayor de carbonato de calcio, adicional a la presente en el fluido de perforación (28.5 kg/m^3 de Carbonato de Calcio 100 y 28.5 kg/m^3 de Carbonato de Calcio 30). Así mismo, el inhibidor de arcilla presente en el fluido de perforación, demostró controlar bastante bien el hinchamiento en la prueba realizada, demostrando así que la inestabilidad es causada por los minerales de arcilla que forman la lutita.

Todo lo expuesto permitió pensar que al implementar una estrategia de "puenteo" de las micro fracturas, y manteniendo la concentración de inhibidor de arcilla, se podría controlar la desestabilización. Esto fue aplicado y se buscó corroborar en pruebas de campo.

5. MODIFICACIONES APLICADAS Y RESULTADOS DE CAMPO

Con la interpretación de los resultados de las pruebas realizadas, se implementaron cambios para la perforación de la formación Orteguaza a partir del pozo TPTC-007.

La formulación del fluido se mantuvo como inicialmente estaba planteada, sin embargo, se planificó el bombeo, en cada parada perforada de píldoras sellantes con una concentración de 28.5 kg/m^3 de Carbonato de Calcio 100 y 28.5 kg/m^3 de Carbonato de Calcio 30, con la finalidad de sellar las micro fracturas.

Para los pozos en que se perforaba en la misma sección, la arcillolita del Terceario Indiferenciado y la lutita de la formación Orteguaza, la primera formación se perforó con un fluido nativo disperso, sin presencia de inhibidor. Esto obligó al cambio por el fluido armado, con la formulación indicada en la Tabla 1, previo al ingreso a Orteguaza; realizando una estación de circulación 60 m antes del tope tentativo de esta formación para cumplir con este cambio.

El fluido nativo es básicamente una mezcla de agua y densificante (barita), sin mayores aditivos. Por lo que mucho cuidado debió establecerse para evitar el contacto de éste con la lutita.

La situación a evitar descrita ocurrió en el pozo TPTC-032, donde la diferencia entre el tope formacional estimado de Orteguaza, y el tope real encontrado fue muy grande. El tope real se encontró más arriba de la prognosis alrededor de 77 m, por lo que se perforó cerca de 17 m de lutita con fluido nativo disperso.

Éste fue el único pozo en el que se evidenció, nuevamente, inestabilidad de lutita, debido precisamente a la perforación con agua, sin inhibidor y sin puenteo de las micro fracturas. Esta inestabilidad ocasionó un atrapamiento de la sarta de perforación y un connato de pega por empaquetamiento.

La Tabla 3 muestra los pozos perforados después del establecimiento de la estrategia para estabilizar la lutita.

Tabla 3. Número de pozos perforados con la estrategia de estabilización que presentaron y no presentaron inestabilidad en la formación Orteguaza.

Número de pozos	Presencia de inestabilidad en Orteguaza
19	NO
1	SI*

*Pozo TPTC-032

6. CONCLUSIONES

El método utilizado para caracterizar la lutita de Orteguaza, desde el punto de vista de las necesidades de la perforación, permitió encontrar formas de mitigar el problema de inestabilidad observado, al ser perforada con fluido a base de agua.

De las pruebas realizadas, se puede concluir que la principal característica que ocasiona la inestabilidad de la lutita de la formación Orteguaza en la plataforma Tiputini C, es la presencia de micro fracturas en la roca, que permiten el ingreso de agua desde el fluido de perforación hasta los espacios entre sus láminas, y que se agrava con el hinchamiento de los minerales de arcilla que forman parte de la lutita.

El problema de inestabilidad se solventó por tanto por medios mecánicos, al sellar las micro fracturas con carbonato de calcio, y por medios químicos, manteniendo la concentración de inhibidores para reducir el hinchamiento intra-laminar, evitando el efecto de estallido.

La efectividad de la solución encontrada se evidenció el momento en que, al perforarse inadvertidamente la roca con fluido nativo, se observaron nuevamente los mismos problemas de inestabilidad de los primeros pozos perforados en esta plataforma.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a PETROAMAZONAS EP, por brindar las facilidades para la realización de este estudio y la publicación de sus resultados. En especial agradece a su Gerente Coordinador de Operaciones, Ing. Darío Cuenca, y Gerente de Perforación, Ing. Freddy Ramírez.

REFERENCIAS

Ballard, T. J., Beare, S. P., & Lawless, T. A. (1994, June 1). Fundamentals of Shale Stabilisation: Water Transport Through Shales. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/24974-PA

Carman, P. S., & Lant, K. S. (2010, January 1). Making the Case for Shale Clay Stabilization. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/139030-MS

Carminati, S., Del Gaudio, L., & Brignoli, M. (2000, January 1). Shale Stabilisation by Pressure Propagation Prevention. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/63053-MS

Nesbitt, L. E., King, G. P., & Thurber, N. E. (1985, January 1). Shale Stabilization Principles. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/14248-MS

Pozo, M. & Carretero, M. I., (2008), Mineralogía Aplicada, Madrid, España: Paraninfo.

Tan, C. P., Wu, B., Mody, F. K., & Tare, U. A. (2002, January 1). Development and Laboratory Verification of High Membrane Efficiency Water-Based Drilling Fluids with Oil-Based Drilling Fluid-Like Performance in Shale Stabilization. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/78159-MS

David Almeida. Ingeniero en Petróleos y graduado del Programa de Maestría en Gestión para la Exploración y Producción de Petróleo de la Escuela Politécnica Nacional. Se desempeñó como ingeniero de campo en trabajos de perforación direccional y horizontal en la compañía Halliburton, como Ingeniero de Perforación y Jefe de Perforación en la empresa Petroamazonas EP. Actualmente continúa en funciones como Líder de Proyecto de la Perforación en Tiputini - Bloque 43.

Reducción de la Vulnerabilidad en Estructuras Esenciales de Hormigón Armado: Hospitales, Situadas en Zonas de Alto Peligro Sísmico en el Ecuador

Medina Christian[1]; Placencia Patricio[2]

[1] Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Ambato, Ecuador
[2]Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Quito, Ecuador

Resumen: El presente trabajo analiza la influencia de la mampostería de relleno en el comportamiento inelástico de hospitales de hormigón armado, tomando en cuenta su respuesta ante las patologías más dañinas atribuidas a la interacción pórtico-mampostería. Para ello se diseñan las estructuras con sistema de pórticos de manera que cumplan con los requerimientos de la NEC-SE. Posteriormente se incorpora la mampostería y se analiza su influencia. Finalmente, se propone un cambio de enfoque en el sistema estructural, a través de la inclusión de un porcentaje mínimo de muros de corte, que permita minimizar al máximo los efectos negativos atribuidos a la mampostería, a más de cumplir con los requerimientos y desempeño expuesto en la norma.

Palabras clave: Influencia mampostería, Estructuras Esenciales, Reducción vulnerabilidad

Vulnerability Reduction in Essential Occupancy Reinforced Concrete Structures: Hospitals, Located in Ecuador's High Seismic Hazard Areas.

Abstract: This paper analyzes the influence of the masonry infill in the inelastic behavior of reinforced concrete hospitals, considering their response to the most harmful pathologies attributed to the frame – masonry infill interaction. To do this, framed structures are designed so that they meet the requirements of the NEC-SE. Subsequently it is incorporated the masonry infill to analyze and its influence in the structures behavior. Finally, it is proposed a change of approach in the structural system, through the inclusion of a minimum percentage of shear walls, which minimizes to the maximum the negative effects attributed to the masonry infill, more than meet the requirements and performance exhibited at the standard.

Keywords: Masonry Influence, Essential Structures, Special Structures.

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país de alto peligro sísmico, pues durante los últimos 470 años, se han registrado numerosos sismos que han devastado ciudades enteras como Ambato, Riobamba, Ibarra entre otras (Yépez, 2007). Como consecuencia, se han realizado varios estudios de peligrosidad sísmica con la finalidad de disminuir el riesgo en las edificaciones. Sin embargo, el enfoque del sistema estructural principal resistente a cargas laterales no se ha mejorado, siendo el sistema aporticado el utilizado en la mayoría de los diseños.

Sin embargo, desde que se emitió el primer código de construcción el Código Nacional de la Construcción en 1951 consecuencia del sismo de Ambato de 1949, hasta la actualidad, el enfoque del sistema estructural principal resistente a fuerzas laterales, no ha cambiado, siendo el Sistema Estructural de Pórticos el que ha predominado en los diseños.

Este sistema estructural es muy susceptible a cambios en su comportamiento, debido a la presencia de mamposterías, que normalmente son consideradas como elementos no estructurales, pero que en realidad provocan graves irregularidades y patologías que se atribuyen a la interacción pórtico-mampostería, con consecuencias fatales para las estructuras, evidenciadas en experiencias de sismos pasados.

Además, la arquitectura moderna y los diseños vanguardistas, dan como resultado estructuras con irregularidades y patologías ocultas que inducen a la estructura a presentar deficiencias en su comportamiento, y que a menudo son ignoradas por los diseñadores. Es por ello que es necesario, mejorar el enfoque que se le da al tratamiento de las irregularidades, de manera que se pueda dar libertad en la configuración de las estructuras y la disposición de la mampostería, sin que esto afecte ni la estabilidad, ni el desempeño bajo cargas laterales que inducen a la respuesta inelástica de las estructuras.

cd.medina@uta.edu.ec
patohpla@hotmail.com
Recibido: 05/04/2016
Aceptado: 23/10/2017
Publicado: 31/10/2017

Características De Los Hospitales En El Ecuador

El presente estudio contempló la visita a varios hospitales de las ciudades de Quito y Ambato (ciudades de alto peligro sísmico), con la finalidad de recabar información acerca de las características generales que arquitectos e ingenieros aplican en el diseño de estas estructuras. De esta observación se pudo concluir que el sistema estructural principal resistente a carga lateral utilizado en el 95% de los casos es el sistema de pórticos.

1.1 Configuración geométrica

La configuración en planta de la gran mayoría de hospitales es rectangular, con una de las dimensiones generalmente unas 3 veces mayor a la otra dimensión. En elevación, estas estructuras presentan una configuración regular de pocos pisos de altura, normalmente entre 2 y 5 pisos, a excepción de algunos casos, y una altura de piso mayor a los 3m. En cuanto a las fachadas de hospitales ecuatorianos, se puede apreciar la existencia de ventanales largos que van de columna a columna, de poca altura, lo cual posibilita la existencia de columna corta.

1.2 Características de la mampostería

En la mayor parte de los hospitales observados se presenció la existencia de mampostería de buena calidad, generalmente hecha de ladrillo industrial o bloque estructural macizo de cemento. Sin embargo, en algunos casos se vio la presencia de mampostería de baja resistencia hecha de bloque hueco de cemento. Las paredes son gruesas de espesor igual o mayor a 15cm.

La distribución de la mampostería es otro de los factores que se analizaron para el estudio. En el piso inferior existe poca concentración de mampostería, debido a que en esta área se encuentran espacios para atención al cliente, recaudación, salas de espera, y la sala de emergencias. Apenas existen pocos consultorios. En este piso la distribución en planta de mampostería es irregular. En los pisos superiores existe gran concentración de mampostería de buena calidad, para dar paso a las habitaciones, salas de terapia intensiva, quirófanos, y consultorios. La distribución en planta de la mampostería en estos pisos es regular, y consiste generalmente en un pasillo largo de luz transversal corta que separa a las habitaciones que se encuentran de lado y lado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Modelo Matemático de la Mampostería

El efecto de interacción de la mampostería de relleno sobre las estructuras aporticadas es un tema que ha sido estudiado analítica y experimentalmente durante varios años. De estos resultados se ha concluido que, en la mayoría de los casos de estudio, bajo carga lateral, las esquinas opuestas a la aplicación de la carga se desprenden del pórtico debido a que no se los construye monolíticamente (Rochel, 1993). Es así que realmente, del muro de mampostería solo actúa una franja diagonal de ancho variable.

Es por ello que, para tener en cuenta la influencia de la mampostería en el comportamiento inelástico de los edificios se utiliza el método del puntal diagonal equivalente, el cual maneja un procedimiento estático no lineal. El método puede ser usado tanto para pórticos completamente rellenos como para paneles de mampostería parcialmente rellenos y con aberturas (Carrillo & González, 2007).

En cuanto al ancho de la diagonal equivalente, se adopta la ecuación expuesta en (FEMA356, 2000), que es una modificación al modelo de (Mainstone, 1971), el cual no se basa solo en la geometría sino en las propiedades mecánicas tanto de la mampostería como del hormigón del pórtico. Las ecuaciones en mención (1 y 2) son las siguientes:

$$\lambda = \left[\frac{E_m * t * sen2\theta}{4E_c * I_{col} * h}\right]^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

$$a = 0.175 * (\lambda * h)^{-0.4} * L \quad (2)$$

En donde λ es un factor de rigidez equivalente, E_m es el módulo elástico de la mampostería, t es el espesor de la pared, θ es el ángulo de inclinación del puntal, E_c es el módulo elástico del hormigón, I_{col} es la inercia de la columna del pórtico, h es la longitud de la columna, a es el ancho del puntal y L es la longitud del puntal. En la figura 1 se muestra el modelo estructural del puntal equivalente.

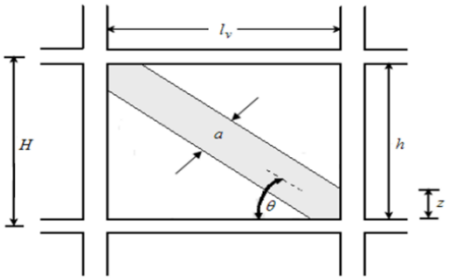


Figura1. Modelo del Puntal Equivalente.

De acuerdo con modelos experimentales realizados por (Zabala & Zabala, 2006), y a la (Norma Ecuatoriana de Construcción, NEC-SE-DS Diseño Sismo Resistente, 2015), es aconsejable tomar un valor del módulo elástico de la mampostería dado por la ecuación 3:

$$E_m = 600\, f'm \quad (3)$$

En donde $f'm$ es el esfuerzo a compresión de la mampostería. La resistencia del puntal se determina calculando la carga necesaria para alcanzar la resistencia a la compresión R_{compr} expresada en la ecuación 4:

$$R_{compr} = a * t * f'm \quad (4)$$

2.2 Modelos Constitutivos de los Materiales

El modelo utilizado para el hormigón es el modelo de Mander, el cual considera un aumento en la resistencia del hormigón de acuerdo tipo y cuantía de refuerzo transversal que se le haya dado a la sección. Es así que este modelo marca una diferencia entre el hormigón confinado y no confinado.

Por otro lado, para el acero de refuerzo, el modelo utilizado es el modelo de Park expuesto en (Priestley, Calvi, & Kowalsky, 2007) el cual considera una mesta de fluencia y el endurecimiento post-fluencia, observado en las curvas esfuerzo deformación de ensayos del acero.

2.3 Características del modelo planteado

Se plantearon varios modelos estructurales en un software especializado para análisis y cálculo estructural, basado en elementos finitos lineales que incorporan las características mecánicas del material constitutivo de la estructura. En el caso de vigas y columnas se trabajó con elementos finitos alámbricos a los cuales se les dotó de características no-lineales utilizando la metodología de plastificación concentrada en los extremos del elemento, representada mediante el diagrama momento-curvatura de cada una de las secciones analizadas. Para la representación de la mampostería como se ha mencionado previamente se utilizó la idealización del puntal equivalente, para lo cual se utilizaron elementos finitos alámbricos articulados en sus extremos que incorporan una rótula plástica en el centro del puntal trabajando a compresión axial únicamente. Se formaron tres tipos de modelos estructurales con sus respectivas variantes: Sistema Aporticado Sin Mampostería, Sistema Aporticado Con Mampostería y Sistema Dual Con Mampostería. En cada uno de los modelos generados se realizó un Análisis Lineal Estático y Dinámico (Modal – Espectral), para posteriormente proceder con el diseño de acuerdo con las normas NEC 2015 y ACI 318-14. Una vez diseñadas las estructuras, se realizó un Análisis Estático No Lineal con el fin de determinar el desempeño bajo las demandas sísmicas descritas en NEC 2015 para hospitales. Para ello se utilizó la metodología de Linealización Equivalente descrita en (FEMA440, 2005).

Los modelos generados se han realizado tomando en cuenta las características típicas de los hospitales ecuatorianos, descritas previamente. En la tabla 1 se describen las propiedades del modelo, y en la figura 2 se ilustra el mismo.

Tabla 1. Características del modelo

INDICADOR	CARACTERÍSTICA
Sistema Estructural Principal resistente a carga lateral	Pórticos de Hormigón Armado
Configuración Geométrica en Planta	Rectangular de 42m de largo X 16m de ancho
Configuración Geométrica en Elevación	Regular de 4 pisos
Luces entre ejes	7m en sentido X; 6m y 4m en sentido Y
Altura de Piso	4m
Características de la mampostería	f'm = 10, 20, 35 kg/cm²
Espesor de la mampostería	e = 15cm
Resistencia del Hormigón	f'c = 240 kg/cm²
Límite de Fluencia del Acero de Refuerzo	fy = 4200 kg/cm²
Dimensión de Columnas	70cm x 70cm todos los pisos
Dimensión de vigas	40cm x 60cm todos los pisos

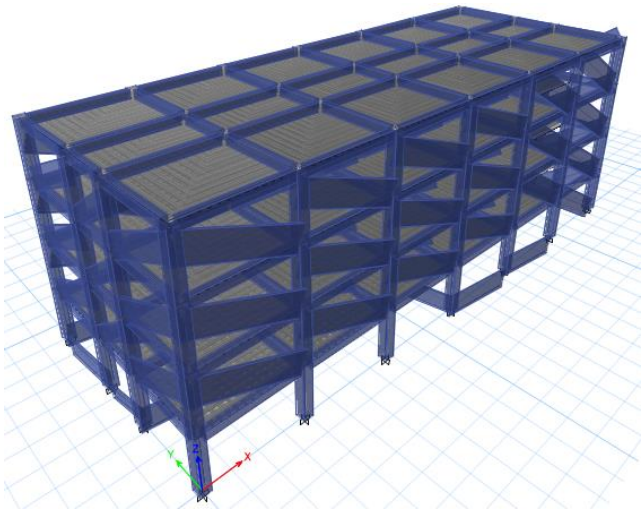


Figura2. Modelo del Puntal Equivalente.

Las estructuras se sitúan sobre un suelo tipo C en una zona sísmica V de alto peligro, en la cual se considera una aceleración del suelo de 0.4g para un sismo cuya probabilidad de excedencia sea del 10% en 50 años, y una aceleración de 0.7g para un sismo cuya probabilidad de excedencia sea del 2% en 50 años.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ESTRCUTURA SIN MAMPOSTERÍA

3.1 Derivas de Piso

Del análisis de las derivas de piso inelásticas, se desprende que estas son menores al 2% permitidas por la NEC-SE para los dos sentidos de análisis. La deriva máxima se produce en el segundo piso lo cual va acorde con el comportamiento de una estructura aporticada, como se muestra en la figura 3. Por

medio de las derivas se puede distinguir la existencia de un piso blando, cuando se observa una amplificación drástica de la deriva en uno de los pisos. Dado que en este análisis no se incluye la mampostería aún y que no existen cambios abruptos en la dimensión de elementos estructurales, no existe piso blando.

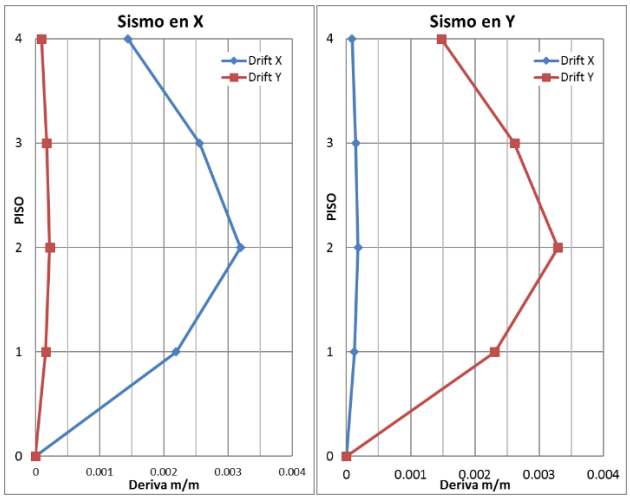


Figura3. Derivas de Piso

3.2 Efecto de Torsión en planta

Para evaluar la torsión en planta se analiza las formas modales y el porcentaje de participación modal de la masa para los dos primeros modos de vibración. Los resultados para el modelo analizado se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Porcentaje de participación modal de la masa

Modo	Periodo (s)	UX	UY	RZ	%Torsión
1	0.695	**0.832**	0	**0**	**0.036**
2	0.664	0	**0.831**	**0.005**	**0.601**
3	0.601	0	0.005	0.832	

Como se puede observar en los dos primeros modos de vibración el movimiento es traslacional, pues en el caso del primer modo el porcentaje de masa modal predomina en el sentido en X, y en el segundo modo el sentido predominante es Y. En ambos casos la torsión no supera el 30% del porcentaje de participación predominante, por lo tanto, no existe torsión en planta.

3.3 Desempeño para el Sismo de Diseño (Tr=475años)

El punto de desempeño se lo halla para cada dirección siguiendo la metodología de la Linealización Equivalente descrita en (FEMA440, 2005). Para el sentido X la estructura alcanza el nivel de Seguridad de Vida, es decir se presentan daños limitados en los elementos estructurales, sin embargo, la probabilidad de pérdidas humanas es nula. Es decir, la estructura **cumple con el desempeño para el nivel de amenaza sísmica: Sismo de Diseño.**

En las figuras 4 y 5 se ilustran el punto de desempeño de la estructura y el nivel de daño generado en las zonas plásticas para el sentido X, respectivamente.

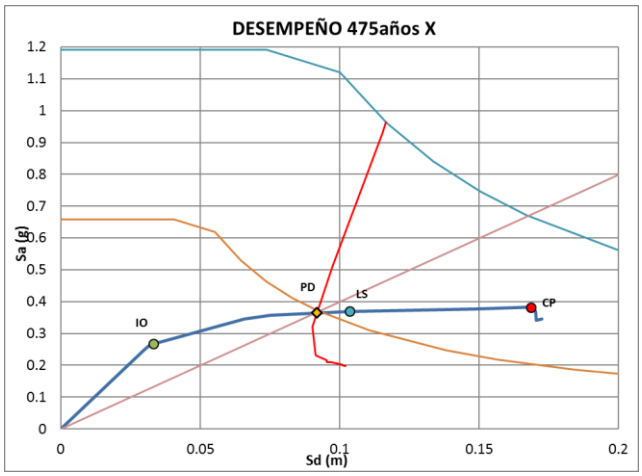


Figura 4. Punto de Desempeño para el Sismo de Diseño

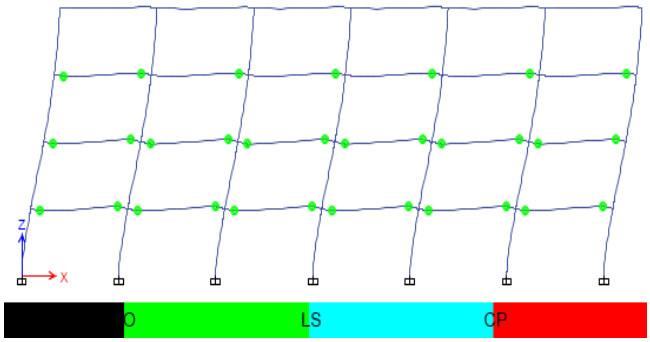


Figura 5. Nivel de Daño en el punto de desempeño

3.4 Desempeño para el Sismo Extremo (Tr=2500años)

La estructura alcanza el nivel de desempeño Prevención de Colapso a un desplazamiento de 22.40cm bajo un corte basal de 849.08Tn. La estructura **cumple con el desempeño para el nivel de amenaza sísmica: Sismo Extremo,** tal como se muestra en la figura 6.

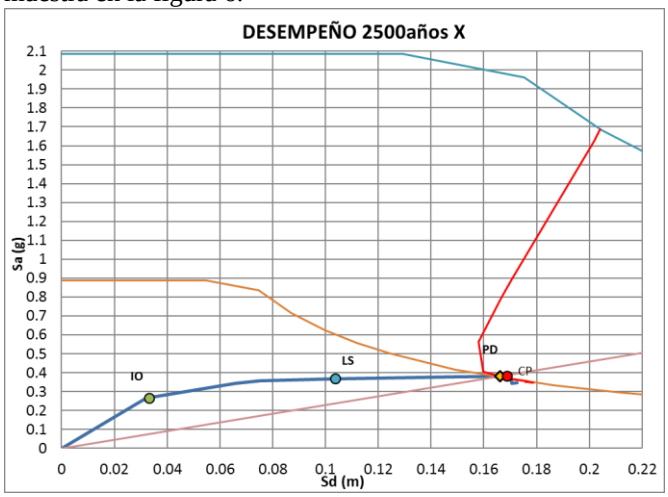


Figura 6. Punto de Desempeño para el Sismo Extremo

INFLUENCIA DE LA MAMPOSTERÍA

Como siguiente paso para este estudio, se incluirá la mampostería de relleno a los modelos analizados anteriormente, para analizar la influencia de esta en el comportamiento inelástico de las estructuras.

3.5 Análisis del Período de vibración

Al incluir la mampostería se aprecia que el periodo fundamental de vibración tiende a decrecer de manera exponencial conforme aumenta la resistencia de la mampostería. Esto es porque la mampostería aporta en gran medida a la rigidez de la estructura. Este efecto se evidencia en la figura 7.

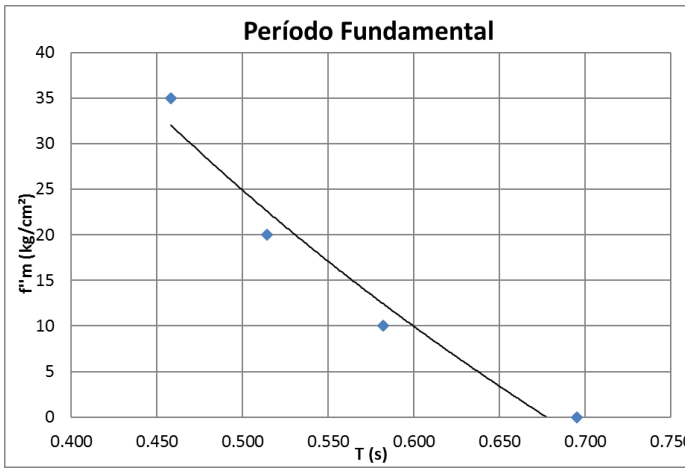


Figura 7. Variación del período fundamental

El período real de la estructura equivale a aproximadamente el 74% del período calculado sin la mampostería, resultando en un mayor input de aceleración que el suelo transmite, efecto que no es comúnmente considerado en el diseño.

3.6 Derivas de Piso y Piso Blando

Si bien las derivas de piso se reducen y cumplen con la deriva inelástica máxima de 0.02, también se debe tomar en cuenta el grado de daño generado en la mampostería. La mampostería deja de trabajar cuando se tiene una deriva de 0.01, a partir de este punto la mampostería inicia el proceso de colapso (Priestley, Calvi, & Kowalsky, 2007). En la figura 8 se puede ver que conforme aumenta la resistencia de la mampostería, las derivas del primer y segundo piso se invierten hasta que la deriva máxima se produce en el 1er Piso, notificando la presencia de un piso blando.

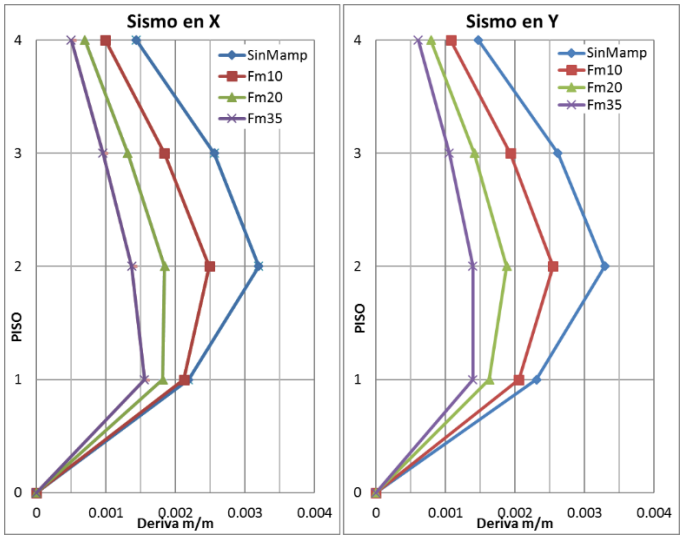


Figura 8. Derivas de Piso

Esto se ratifica al evaluar la distribución del corte en una de las columnas de la estructura, pues en la figura 9 se aprecia una amplificación drástica de la fuerza cortante en el primer piso.

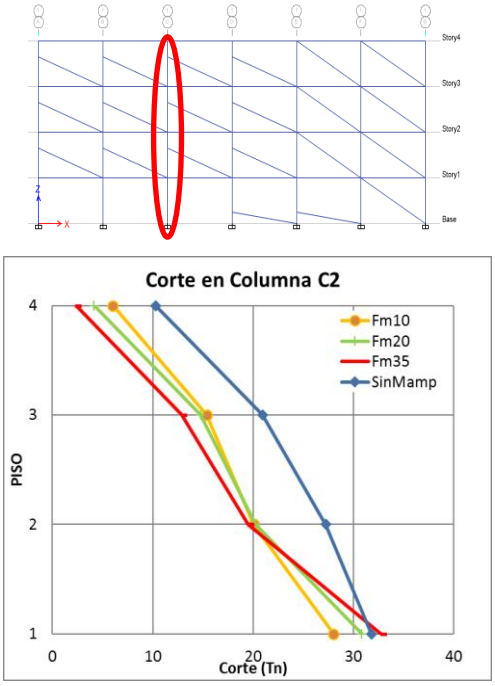


Figura 9. Corte en columna C2

3.7 Efecto de Columna Corta

En los modelos anteriores no fue posible hacer un análisis del efecto de columna corta, ya que en ellos no se incluyó la mampostería. Este es una patología oculta que la mayoría de las veces se pasa por alto por no verse reflejada en la modelación. En la figura 10 se muestra cómo la mampostería hace que el corte se amplifique de manera drástica en la sección de columna que queda libre, conforme aumenta la resistencia y rigidez de la mampostería.

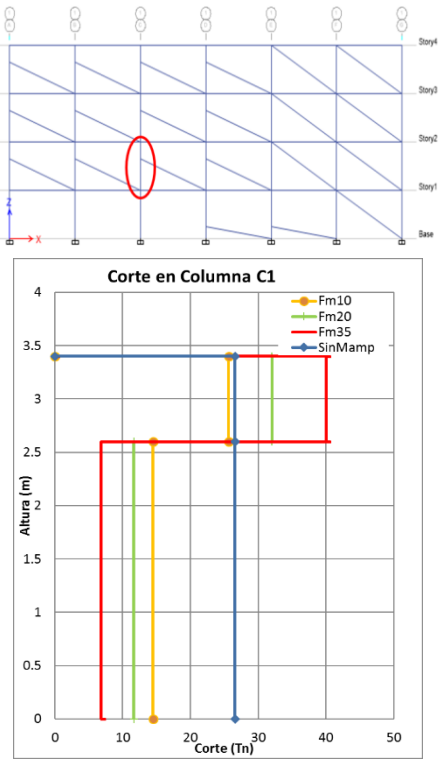


Figura 10. Corte en columna C1

Si bien la norma establece un procedimiento cuando existe la presencia de columnas cortas, este no es aplicable cuando la altura libre de la columna es menor a 4 veces el peralte del elemento, pues el elemento deja de trabajar a flexión para trabajar como un elemento de gran peralte, por lo que la analogía de la celosía para diseño a corte no es aplicable.

3.8 Efecto de Torsión en planta

Luego de realizar el análisis se observa que la mampostería influye notablemente en la torsión en planta, mostrando una tendencia lineal del aumento del porcentaje de torsión respecto al aumento de resistencia de la mampostería. Es así que, una estructura cuyos dos primeros modos de vibración eran totalmente traslacionales con un porcentaje de torsión del 0%, pueden llegar a ser totalmente torsionales por influencia de la mampostería de relleno, la cual es considerada como elemento "no estructural". En la figura 11 se observa la tendencia lineal creciente de este efecto.

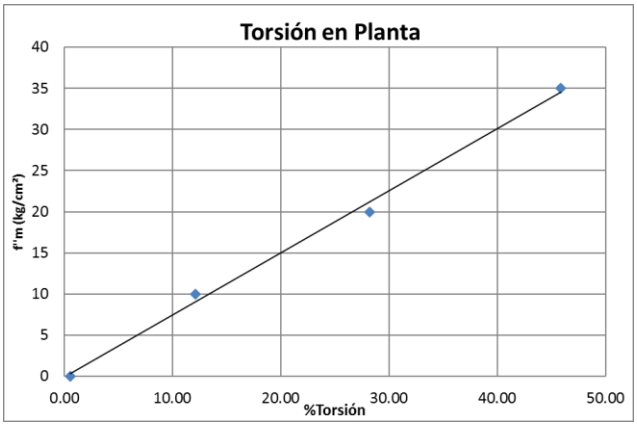


Figura 11. f'm vs %Torsión

3.9 Desempeño para el Sismo de Diseño (Tr=475años)

Después de realizar el análisis, para todos los casos en los que se incluyó la mampostería, se concluye que no se cumple con el desempeño requerido para estructuras esenciales para el nivel de amenaza: Sismo de Diseño, pues el nivel de desempeño alcanzado es Prevención de Colapso, cuando debería haberse limitado a Seguridad de Vida, como se muestra en la figura 12.

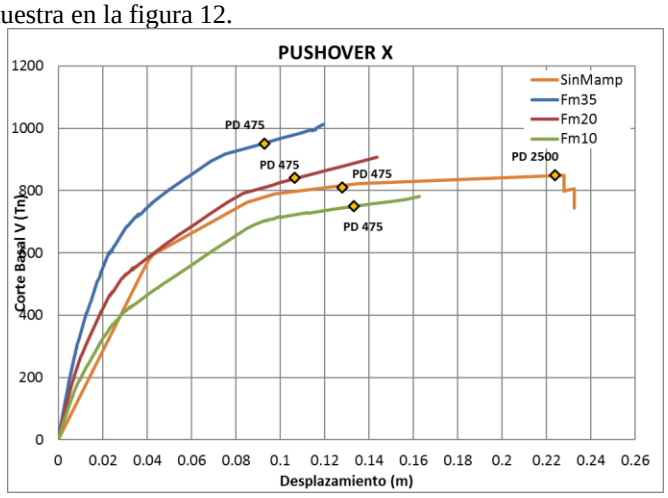


Figura 12. Punto de Desempeño para el Sismo de Diseño

En la figura 13 se aprecia que el nivel de daño alcanzado para el punto de desempeño es extenso en elementos no estructurales, toda la mampostería representada por los puntales se encuentra colapsada.

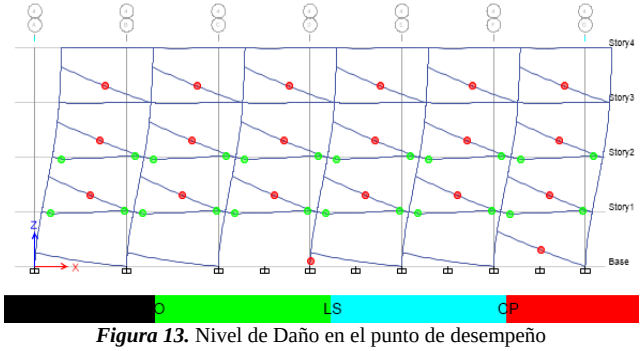


Figura 13. Nivel de Daño en el punto de desempeño

En el caso de los elementos estructurales se observa que todas las vigas del primer y segundo piso han sobrepasado la

fluencia y que incluso una de las columnas del primer piso se encuentra rotulada.

3.10 Desempeño para el Sismo Extremo (Tr=2500años)

Si no se alcanzó el desempeño requerido para el sismo de diseño, peor aún se logró para el sismo extremo, pues no se pudo determinar el punto de desempeño para ningún caso ya que la estructura colapsa bajo fuerzas menores a las generadas por el sismo.

Es así que las estructuras que aparentemente están bien diseñadas y cumplen con los requisitos de desempeño establecidos en los códigos, pueden llegar a tener problemas en su comportamiento inelástico por la influencia de la mampostería, puesto que esta no se considera en el diseño.

SOLUCIÓN PROPUESTA

Luego de realizado el análisis se determinó que el porcentaje mínimo de muros de cortante que se debe incluir en los hospitales (estructuras esenciales) es del 4% del área en planta, distribuidos inversamente proporcionalmente a la longitud de cada dirección. Con este porcentaje, se reducen drásticamente las patologías ocultas atribuidas a la interacción pórtico-mampostería, es decir, se eliminan efectos de piso blando, columna corta y torsión en planta. Más importante aún, se logra alcanzar los desempeños requeridos para estructuras esenciales para los diferentes niveles de amenaza sísmica descritos en la NEC-SE 2015.

Así mismo, se observó que los muros son mucho más efectivos cuando su longitud es mayor, es así que de acuerdo con este resultado y de la recomendación de (Placencia, 2015), la longitud mínima de cada muro debe ser 5m. Las ecuaciones propuestas (5, 6, 7) son:

$$\%Muros_{Lmayor} = 4\% * \frac{Lmenor}{Lmayor + Lmenor} \quad (5)$$

$$\%Muros_{Lmenor} = 4\% * \frac{Lmayor}{Lmayor + Lmenor} \quad (6)$$

$$Lmuro \geq 5m \quad (7)$$

En donde $\%\text{Muros}_{\text{Lmayor}}$ es el porcentaje de muros de corte en la dirección más larga, Lmenor es la menor dimensión del edificio, Lmayor es la mayor dimensión del edificio, $\%\text{Muros}_{\text{Lmenor}}$ es el porcentaje de muros de corte en la dirección más corta, y Lmuro es la longitud de cada muro.

3.11 Modelo con Sistema Dual

Para el presente caso de estudio al aplicar las ecuaciones propuestas, el porcentaje de muros de corte adecuado es de 1.1% en la dirección X y 2.9% en la dirección Y, lo cual sumado da el 4%. Además, la sección de las columnas se redujo de 70x70cm a 45x45cm, es decir hubo una disminución del 58.67% del área bruta de columnas. Así mismo las vigas se redujeron de 40x60cm a 30x45cm es decir una reducción del 43.75% del área bruta de vigas, por lo que la solución recomendada comienza a mostrar sus ventajas iniciales. El modelo estructural generado se muestra en la figura14.

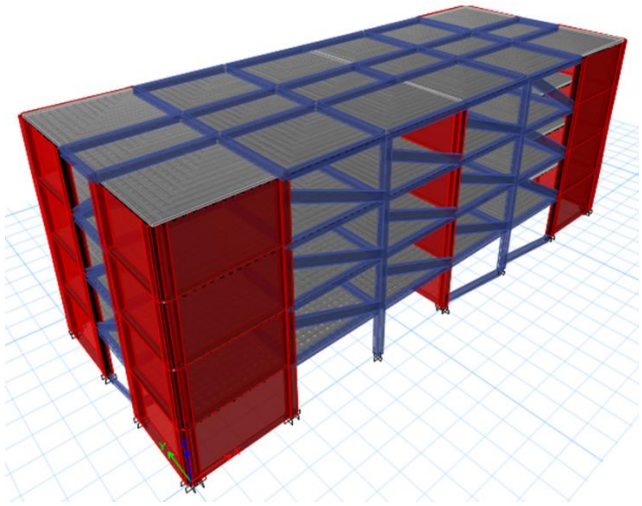


Figura 14. Modelo Estructural con Sistema Dual al 4%

3.12 Derivas de Piso y Piso Blando

Se elimina la existencia de piso blando, pues la deriva máxima ya no se encuentra en el primer piso, y se nota que no existe amplificación de la deriva en el primer piso como en el caso del modelo con mampostería. En la figura 15 se observa la diferencia en la forma de la deriva entre la estructura con mampostería y la estructura con sistema dual. La forma de la curva de las derivas se asemeja a la de un sistema dual teniendo las mayores derivas en los pisos superiores. Así mismo la amplificación drástica del corte, que se observó anteriormente, se reduce al máximo por lo que se corrobora la inexistencia de piso blando. Esta reducción del corte se muestra en la figura 16.

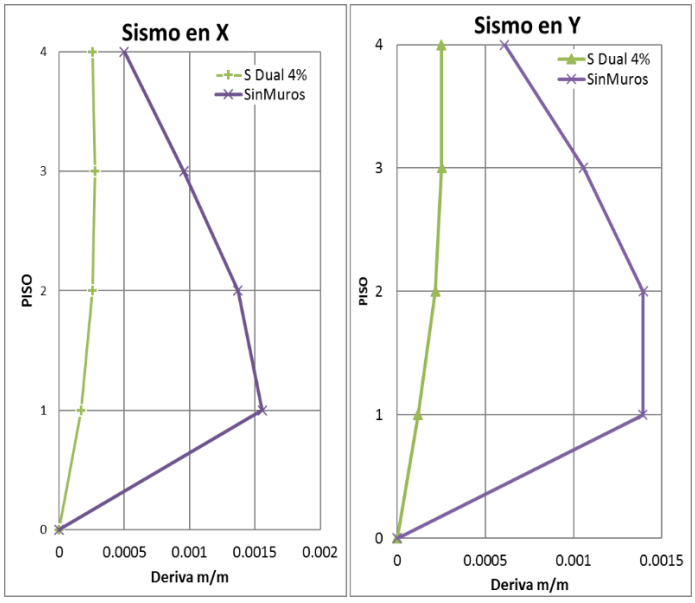


Figura 15. Derivas de Piso

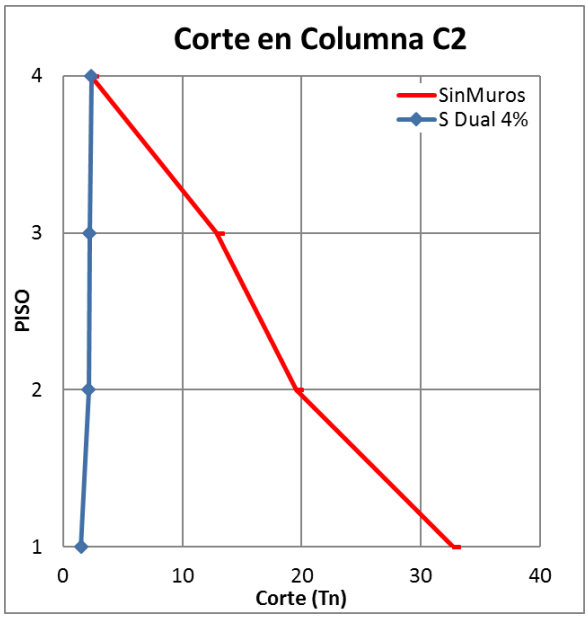


Figura 16. Corte en columna C2

3.13 Efecto de Columna Corta

Los resultados demuestran que el efecto de columna corta se elimina totalmente, pues los valores de corte en la columna en el punto de desempeño para el sismo de diseño son extremadamente bajos, y no existe una amplificación exagerada del corte en la sección libre de la columna, como previamente ocurrió, lo cual se aprecia en la figura 17.

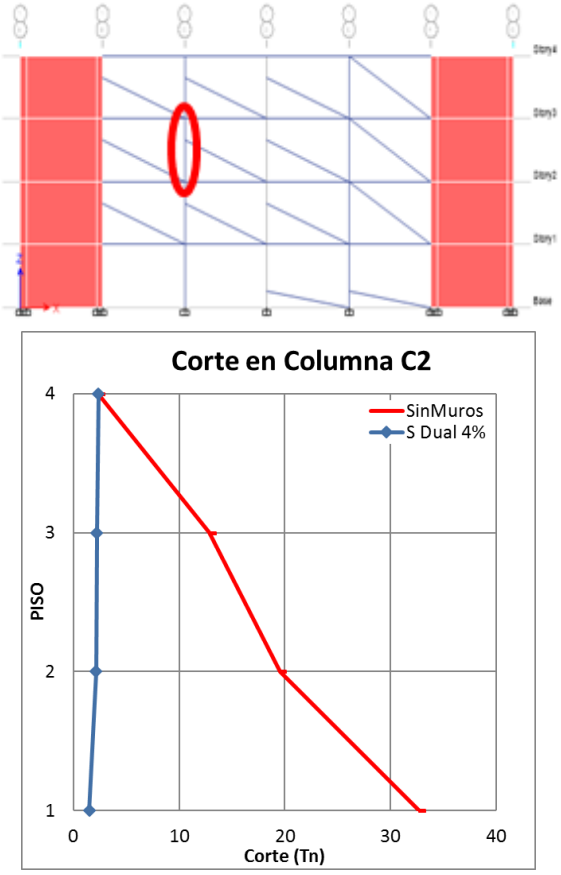


Figura 17. Corte en columna C1

3.14Efecto de Torsión en planta

Con la inclusión de los muros de corte a la estructura, se logró que los dos primeros modos de vibración sean totalmente traslacionales, reduciendo el porcentaje de torsión del 45.87% al 0%. Cabe recalcar, que la torsión en planta es muy susceptible a la configuración de los muros, es por ello que se deben procurar configuraciones regulares y simétricas. Los porcentajes de participación de la masa se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de participación modal de la masa

Modo	Periodo (s)	UX	UY	RZ	%Torsión
1	0.193	**0.741**	0	**0**	**0**
2	0.173	0	**0.703**	**0**	**0**

3.15 Desempeño para el Sismo de Diseño (Tr=475años)

El desempeño para el sismo de diseño se cumple con holgura para los dos sentidos de análisis, como se muestra en la figura 18, por lo que se demuestra la bondad de este sistema estructural. Así mismo, la demanda de ductilidad y de amortiguamiento efectivo son mucho menores que las obtenidas para las estructuras sin muros. El nivel de daño en la estructura es muy limitado, tanto así que los elementos no estructurales (mampostería) alcanzan el nivel Ocupación Inmediata, es decir fisuramientos menores.

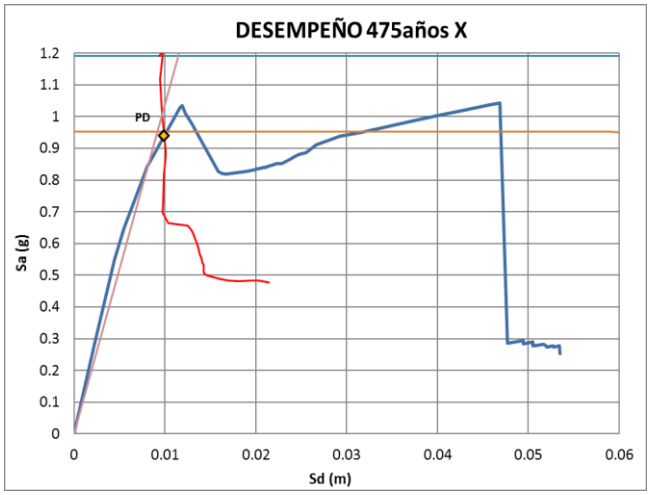


Figura 18. Punto de Desempeño para el Sismo de Diseño

3.16 Desempeño para el Sismo Extremo (Tr=2500años)

Así mismo para el sismo con período de retorno Tr=2500 años se cumple el desempeño requerido por la norma, alcanzando el nivel de desempeño de Seguridad de Vida como se muestra en la figura 19, pues los márgenes de seguridad ante el colapso parcial o total de la estructura no se agotan por completo por lo que el riesgo de vida de los ocupantes es bajo.

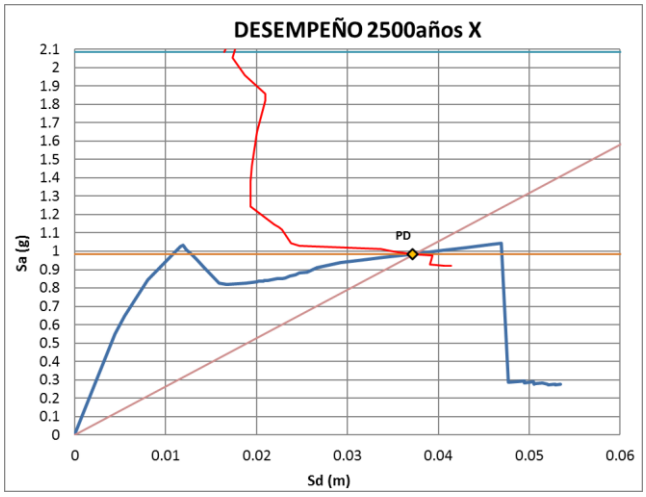


Figura 19. Punto de Desempeño para el Sismo Extremo.

En cuanto al nivel de daño se refiere, este es mucho menor al obtenido con las estructuras sin muros, además que el volumen de rótulas es menor. Esto ratifica que la estructura se torna mucho más segura para la vida de los ocupantes. Incluso el nivel de daño en elementos estructurales es mucho menor.

3.17Análisis Económico Comparativo

Finalmente se ha realizado un análisis económico comparativo en el costo de la superestructura del Hospital, con los dos sistemas estructurales analizados. En las figuras 20 y 21, se detallan los presupuestos de los rubros estructurales para ambos casos.

PROYECTO: SUPERESTRUCTURA DE UN HOSPITAL TIPO CON SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO					
Fecha: 30 de Diciembre del 2015					
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	Hormigón en columnas f'c=240kg/	m3	219.52	$ 220.00	$ 48,294.40
2	Hormigón en losa alivian e=25cm f	m3	208.25	$ 198.95	$ 41,431.34
3	Hormigón en vigas f'c=240 kg/cm²	m3	238.56	$ 210.72	$ 50,269.36
4	Acero de Refuerzo fy=4200 kg/cm	kg	81914.71	$ 2.12	$ 173,659.18
TOTAL					$ 313,654.28
SON: TRES CIENTOS TRECE MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO CON 28/100					

Figura 20. Presupuesto de un Hospital con sistema de pórticos

PROYECTO: SUPERESTRUCTURA DE UN HOSPITAL TIPO CON SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL					
Fecha: 30 de Diciembre del 2015					
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	Hormigón en columnas f'c=240kg/	m3	38.88	$ 220.00	$ 8,553.60
2	Hormigón en losa alivian e=25cm f	m3	236.25	$ 198.95	$ 47,001.94
3	Hormigón en vigas f'c=240 kg/cm²	m3	108.00	$ 210.72	$ 22,757.76
4	Hormigón en Muro Estructural f'c=	m3	411.20	$ 208.48	$ 85,726.98
5	Acero de Refuerzo fy=4200 kg/cm	kg	70311.89	$ 2.12	$ 149,061.21
TOTAL					$ 313,101.48
SON: TRESCIENTOS TRECE MIL CIENTO UN CON 48/100					

Figura 21. Presupuesto de un Hospital con Sistema Dual

El sistema estructural que resulta más costoso es el aporticado y aunque la reducción del costo es solamente un 0.18% el cambio de enfoque en cuanto al sistema estructural se justifica totalmente debido a las enormes ventajas que presenta frente al sistema aporticado, mostradas previamente.

4. CONCLUSIONES

Se concluye que la interacción pórtico-mampostería, modifica el comportamiento dinámico de las estructuras, generando cambios en su rigidez, resistencia y ductilidad.

Además, se demostró que el sistema estructural dual minimiza la mayoría de los efectos negativos producidos por la interacción pórtico-mampostería, y mejora notablemente el desempeño de las estructuras.

El porcentaje mínimo de muros de cortante que se debe incluir en los hospitales (estructuras esenciales) es del 4% del área en planta, distribuidos inversamente proporcional a la longitud de cada dirección, ubicados en la periferia del edificio.

El costo de la superestructura del Hospital utilizando el sistema Dual es un 0.18% menor al costo utilizando sistema aporticado, justificándose aún más su utilización.

REFERENCIAS

Carrillo, J., & González, G. (2007). *Influencia de la Mampostería No Reforzada en el Comportamiento Inelástico de Pórticos de Concreto*. Dyna vol 152, 217-227.

FEMA356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation Buildings*. Washington D.C.: FEMA.

FEMA440. (2005). I*mprovement of Non Linear Static Seismic Analysis Procedures.* Washington D.C.: FEMA.

Mainstone. (1971). *On the stiffness and strengths of infilled frames. Procedings of the Institution of Civil Engineers.*

Norma Ecuatoriana de Construcción. (2015). *NEC-SE-DS Diseño Sismo Resistente*. Quito: MIDUVI.

Norma Ecuatoriana de Construcción. (2015). *NEC-SE-HM Estructuras de Hormigón Armado*. Quito: MIDUVI.

Norma Ecuatoriana de Construcción. (2015). *NEC-SE-RE Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras*. Quito: MIDUVI.

Placencia, P. (2015). *Apuntes de la Materia de Estructuración Sísmica.* Quito: Maestria en Estructuras EPN.

Priestley, M., Calvi, G., & Kowalsky, M. (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Stuctures.* Pavia: Fondazione EUCENTRE.

Rochel, R. (1993). I*nfluencia de los Muros de Mampostería en el Comportamiento de las Estructuras Aporticadas.* Revista Universidad EAFIT No 90, 71-79.

Yépez, H. e. (2007). B*reves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador*. Quito: Corporación Editora Nacional.

Zabala, O., & Zabala, J. (2006). *Rehabilitación de Mamposterías Agrietadas de Ladrillo Artesanal*. Quito: Tesis de Grado. PUCE.

Christian David Medina Robalino. Nacido en Ambato Tungurahua, en 1989. Obtuvo el título de Ingeniero Civil en la Universidad Técnica de Ambato. Magíster en Estructuras de la Escuela Politécnica Nacional. Experiencia laboral: - Consultor Estructural en proyectos de edificaciones sismo resistentes, puentes, viaductos y estructuras de almacenaje desde junio 2012 hasta la presente fecha. - Docente ocasional de la Universidad Técnica de Ambato desde mayo 2016 hasta la presente fecha. Publicaciones y Líneas de investigación: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sísmica, Puentes.

Patricio Placencia Andrade. Estudió Ingeniería Civil en la Escuela Politécnica Nacional. Obtuvo la Maestría en Ciencias en la Universidad de Texas, en Austin. Fue profesor principal en la EPN, desde 1979 hasta 2014. Actualmente es profesor Honorario de la EPN. Formuló el proyecto de creación del Laboratorio de estructuras “Centro de Investigación de la Vivienda”. Director del mismo, hasta 2014. Coordinó la creación del Postgrado de Ingeniería Estructural en la EPN. Autor de artículos técnicos urgentes en su momento, como Metodología para estudio estructural de monumentos históricos, Diseño sismo resistente de edificios aporticados, Diseño sismo resistente de edificios con vigas banda, diseño sismo resistente de edificios con muros, Vulnerabilidad sísmica en el Ecuador. Líneas de investigación: Diseño estructural, seguridad sísmica, reforzamiento de estructuras. Es asesor estructural de la OPS, PNUD, BID, Banco Mundial.

Variación Diaria y Horaria de la Velocidad de Operación en Carreteras Rurales de Dos Carriles en el Cantón Loja

García-Ramírez, Yasmany[1]; Zárate, Belizario[1]; Segarra, Soledad[1]; González, Julio[1]

[1]Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil, Loja, Ecuador

Resumen: En seguridad vial, la consistencia de diseño de una carretera puede ser estimada mediante el uso de perfiles de velocidad de operación de vehículos. Este perfil se obtiene a partir de modelos de velocidad y aceleración en rectas y curvas. Estos modelos son generados en base a las velocidades de operación recolectadas en campo. En la literatura previa, esta recolección de datos se ha realizado en diversos momentos del día. En este escenario, el presente trabajo tuvo por objetivo determinar si las velocidades de operación varían entre las horas del día y entre los días de la semana en carreteras rurales de dos carriles; con el fin de recomendar los días y horas en donde se obtendrán las velocidades de operación más representativas. Para ello, se recolectaron velocidades con un contador de tráfico neumático MetroCount modelo 5600 plus. El equipo fue colocado en rectas para asegurar que los vehículos alcanzaran velocidades altas. Los resultados muestran que la velocidad de operación varía significativamente entre los días de la semana. También, se encontraron variaciones entre las horas de la noche y las horas del día, no obstante, durante el día no se encontraron variaciones significativas entre todas las horas. Este trabajo sugiere que la recolección de datos de velocidades se debiera realizar de lunes a viernes desde las 07h00 a 15h00, ya que en este período se obtienen las velocidades más altas. Estas velocidades son las más desfavorables, ya que afectan a la seguridad ofrecida por la carretera.

Palabras clave: seguridad vial, perfil de velocidad de operación, noche, día, día de la semana.

Daily and Hourly Variation of the Operating Speed in Two-lane Rural Roads in Loja Canton

Abstract: On road safety, design consistency evaluation of a road could be estimated using the operating speed profile of vehicles. This profile is obtained from tangent and curves speed and acceleration models. These models are generated from operating speeds that are collected in the field. In the previous literature, data collection was performed during various times of the day. In this scenario, this study aimed to determine whether operating speeds vary between hours of the day and between days in the week in rural two-lane roads, in order to recommend the days and hours where most representative operating speeds will be obtained. For that, speeds of four rural two-lane roads were collected with the MetroCount model MC5600 plus device. The device was placed in tangent to ensure that the vehicles achieved high speeds. The results show that there are significant variations in operating speed between weekdays. Also, it was found variations during nighttime and daytime, however, during daytime significant variations between whole hours were not found. This work suggests that speed data collect should be performed from Monday until Friday between 07h00 until 15h00, because the highest speeds are obtained in this period. These speeds are the less favorable speeds because they could affect the safety offered by the road.

Keywords: road safety, operating speed profile, nighttime, daytime, weekday.

1. INTRODUCCIÓN

Una forma de analizar la seguridad que ofrecen la carretera rural de dos carriles es mediante los análisis de consistencia del diseño. Una técnica muy estudiada y aceptada para realizar estos análisis son los perfiles de velocidad de operación. Generalmente, estos perfiles se construyen mediante modelos de velocidad en curvas, modelo de velocidad en rectas o velocidad deseada y modelos de aceleración y desaceleración entre la recta y la curva. La mayoría de estos modelos relacionan las velocidades de operación con la geometría de la carretera. Estos modelos varían en la forma del modelo, en las variables independientes que usan, afectando sus estimaciones. Incluso, cuando la forma de modelo y sus variables independientes son similares, sus estimaciones son distintas.

Estas variaciones se deben a que la estimación de la velocidad de operación es una cuestión compleja, ya que es influenciada por características del conductor, vehículo,

ydgarcia1@utpl.edu.ec
Recibido: 23/01/2017
Aceptado: 23/10/2017
Publicado: 31/10/2017

entorno y geometría de la carretera. Una de las posibles fuentes de variación en la velocidad de operación es la recolección de datos. Algunos estudios recolectaron velocidades con equipos puntuales como pistolas de radar, láser, sensores piezométricos (Collins et al., 1996; Figueroa y Tarko, 2005; Fitzpatrick et al., 2000), mientras que otros usaron equipos continuos como el GPS (Bennett, 1994; Nie y Hassan, 2007). En la mayoría de estudios relacionados con la velocidad no se colocaron mayores detalles acerca de la recolección de datos, tal como se muestra en la Tabla 1.

En la Tabla 1 se puede observar que la mayoría de estudios reportaron el mes y/o año de recolección de datos. Algunos autores no indicaron en qué día de la semana se hizo la recolección de datos y muy pocos mencionaron las horas en las que fueron recolectadas las velocidades.

Con el fin de analizar si el momento de recolección afecta a la velocidad de operación y de recomendar los días y horas en donde se obtendrá las velocidades de operación más representativas, esta investigación tuvo como objetivo determinar si las velocidades de operación varían entre horas del día y entre los días de la semana en carreteras rurales de dos carriles. Se consideraron sólo los vehículos livianos ya que sus velocidades son mayores que los demás vehículos. Las velocidades fueron medidas con un contador de tráfico tipo neumático denominado MetroCount modelo MC5600 plus en rectas de carreteras rurales de dos carriles del cantón Loja (Ecuador).

Para exponer este análisis, el artículo está organizado de la siguiente manera. En primer lugar, en la sección de materiales y métodos, se muestra las características del equipo de medición y los sitios de medición, la recolección de datos, el procesamiento de datos y el cálculo del intervalo del tiempo crítico, el cual sirve para separar los vehículos libres de los vehículos en seguimiento. Luego, se muestran los resultados mediante análisis estadísticas, para finalmente discutirlos al final del trabajo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Equipo de medición

El contador neumático MetroCount modelo MC5600 plus tiene dos sensores neumático. Tiene una resolución de 833 microsegundos. Permite registrar automáticamente la velocidad de vehículos en ambos sentidos de circulación. También permite clasificar los vehículos en base a varios esquemas. En este caso se eligió el esquema de clasificación ARX (AUSTROADS Vehicle Classification System), el cual permite catalogar los vehículos en 12 clases.

En la recolección de velocidades, el equipo tiene errores aleatorios asociados a la resolución del equipo y a la ubicación de los sensores neumáticos. En esta investigación, las velocidades recolectadas estuvieron entre 10-132 km/h, pudiendo alcanzar errores de ±0,02 km/h a ± 4,1 km/h en las velocidades de cada vehículo, sin embargo, dado que la velocidad de operación es un estadístico descriptivo de todas las velocidades de los vehículos y que el número de observaciones fue alto, los errores aleatorios de este estudio se acercarán a cero.

2.2 Sitios de medición

La selección de los sitios de medición estuvo condicionado a los siguiente criterios (i) carreteras pavimentadas rurales de dos carriles, (ii) no tener características físicas que puedan afectar la velocidad de operación, tales como túneles 0 puentes, (iii) poseer condiciones ambientales similares entre ellos, (iv) presentar pendientes longitudinales menores al 5%, (v) tener buenas condiciones del pavimento, y (vi) poseer un bajo tráfico que asegure la conducción en flujo libre. En base a estos criterios, se seleccionaron 4 carreteras ubicadas en la provincia de Loja (Ecuador): Loja – Catamayo, Loja – Vilcabamba, Loja – Zamora y Loja – Cuenca. El tránsito promedio diaria para cada carretera fue de 1267, 1299, 714 y 1024 veh/h, respectivamente. Las dos primeras carreteras tienen pavimento flexible y el resto tienen pavimento rígido, además, todas las rutas atraviesan terrenos montañosos.

2.3 Recolección de datos

El equipo fue colocado en tramos rectos de forma que los vehículos alcancen altas velocidades. Los sensores fueron colocados transversalmente a la calzada, separados una distancia de 1,0 m. Se aseguraron que los registros en cada carretera sean por lo menos de 30 días, de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 1. Detalle de fechas de recolección de datos en varios estudios de velocidad

Autor/es (año)	Período de medición	Día/Noche	Día de la semana	Hora del día
Bennett (1994)	Dic (1989), Ene.-Mar. (1990), Ago. (1990), Nov. (1990)	Día/Noche	Toda la semana	Todo el día
Collins y Krammes (1996)	*	Día	*	*
Fitzpatrick et al. (2000)	Jul. (1996), Ene. (1997)	Día	*	*
Figueroa y Tarko (2005)	May.-Ago. (2002)	Día	Semana laboral	*
Catbagan y Nakamura (2008)	May.-Oct. (2006)	Día/Noche	Toda la semana	08h00-16h00 20h00-04h00
Memon et al. (2008)	*	Día	*	*
Nie y Hassan (2008)	Ago.-Oct. (2005)	Día	Toda la semana	*
Dell'Acqua et al. (2005)	2009	Día	*	*
Hu y Donell (2010)	Ago. (2004)	Noche	*	*
Pérez et al. (2010)	Feb.-Jul. (2008)	Día	Semana laboral	08h30-14h00

* No disponible

- En el sitio 1 (carretera Loja – Catamayo) : 26 al 28 de febrero del 2014, 01 al 18 de marzo del 2014, 03 al 10 de abril del 2014, 16 al 31 de enero del 2015 y 01 al 04 de febrero del 2015.
- En el sitio 2 (carretera Loja – Vilcabamba) : 01 al 23 de marzo del 2015 y 23 al 28 de febrero del 2015.
- En el sitio 3 (carretera Loja – Zamora) : 10 al 24 de febrero del 2014, 19 al 28 de febrero del 2014, 01 de abril del 2014, 15 al 31 de diciembre del 2014 y 1 al 15 de enero del 2015.
- En el sitio 4 (carretera Loja – Cuenca) : 14 al 30 de abril del 2015, 01 al 15 de mayo del 2015.

2.4 Intervalo de tiempo crítico ("critical headway")

Una de las condiciones para analizar la velocidad de operación es que los vehículos circulen libremente. Un vehículo libre no es afectado por los vehículos precedentes y puede llegar a circular a la velocidad deseada. En esta sección se analiza el intervalo de tiempo crítico, llamado en inglés **"critical headway"**, de cada una de las carreteras y se elige el valor más adecuado. Este valor es la separación en segundos que divide a los vehículos libres de los vehículos en seguimiento.

El headway crítico puede ser analizado por varias técnicas: velocidades relativas, comparación de distribución de velocidades relativas, tasas de velocidades relativas, velocidad media y desviación de velocidades absolutas y análisis exponencial. Una de las técnicas que ha mostrado buenos resultados en el análisis del headway es la velocidad relativa media (Bennett, 1994). Esta técnica consiste en promediar las velocidades relativas en un headway considerado. Las velocidades relativas se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$VR_i = |V_i - V_{i-1}| \quad (1)$$

Donde:
VR_i = velocidad relativa entre los vehículos i e i-1, km/h
V_i = velocidad del vehículo i, km/h
V_{i-1} = velocidad del vehículo i-1, km/h.

Una vez obtenidas las velocidades relativas, se procedió a agruparlas en función de un headway cada 0,25 s. En cada grupo de obtuvo el promedio de las velocidades relativas. El headway y la velocidad relativa promedio fue graficada para cada carretera y cada sentido de circulación. Por representatividad, sólo se consideraron los grupos con más de 100 observaciones. Se registró el headway crítico cuando se la velocidad relativa se mantuvo constante. En la carretera Loja – Catamayo fue de 5 s y en el sentido contrario de 6 s, en la carretera Loja – Vilcabamba fue de 6 s y en sentido contrario fue de 4 s, en la carretera Loja – Zamora fue de 3 s y en el sentido contrario de 8 s y en la carretera Loja – Cuenca no hubo un valor claro y en el sentido contrario de 5 s. Estableciendo un promedio entre esos valores se obtiene que el valor crítico del headway de 5,29 s semejante a 5,5 s.

Los headway críticos más habituales para vehículos livianos están entre 4,5 y 7 s y han sido analizadas ampliamente por varios autores: 7 s (Quaium, 2010); 6 s (Mahoney et al., 2007); 5 s (Bennett, 1994; Collins et al., 1996; Fitzpatrick et al., 2000; Figueroa y Tarko, 2005; Perco y Robba, 2005; Crisma et al., 2005; Nie y Hassan, 2007; Dell'Acqua y Russo, 2010; Hassan, 2011); 4,5 s (Bennett, 1994).

2.5 Procesamiento de datos

Se eliminaron todos los tipos de vehículos diferentes a los vehículos livianos. Se eliminaron las observaciones de vehículos cuya velocidad no estaba en flujo libre mediante un headway de 5,5 segundos.

Se separó esta nueva base de datos por cada hora del día. En cada grupo se obtuvo la velocidad de operación o percentil 85 de la velocidad. Se obtuvieron las velocidades de operación máximas y mínimas. Luego, se determinó el rango de horas en donde se registraron las velocidades máximas. El número de observaciones en cada grupo estuvo entre 161 y 3245.

Por otro lado, se calculó la velocidad de operación, velocidades mínimas y máximas para cada día. Con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre el día que tuvo la velocidad más alta y los días de la semana, se realizó un análisis de la varianza ANOVA con el 95% de confiabilidad. Considerando que había variaciones significativas se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey con un error de 0,05 para determinar esas diferencias. El número de observaciones para cada día estuvieron entre 785-6690. Todos los cálculos fueron realizados usando hojas electrónicas (Microsoft, 2007) y MINITAB 14.2 (Minitab, 2005).

3. RESULTADOS

3.1 Velocidades durante las horas del día

Previa al cálculo de las velocidades de operación se hizo un análisis para determinar si la distribución de velocidades en cada hora del día era normal, dado que muchas técnicas de análisis estadísticos asumen que los datos tienen este tipo de distribución. Para ello se realizó un test de normalidad Anderson – Darling mediante el programa estadístico Minitab 14 (Minitab, 2005). Las velocidades agrupadas en cada hora del día tuvieron una distribución normal entre el 83 – 98% al 95% de confiabilidad para todas las carreteras, sin embargo, hubieron ciertos horarios en donde prevaleció la distribución normal, por ejemplo en la carretera Loja – Catamayo (ida y vuelta) entre las 06h00–21h00, en la carretera Loja – Vilcabamba (ida y vuelta) entre las 07h00–22h00 y en las carreteras Loja – Zamora (ida y vuelta) y Loja – Cuenca (ida y vuelta) entre las 05h00–24h00. Cabe aclarar que a lo largo de este documento se referirá como "ida" al sentido de circulación con origen en Loja y como "vuelta" al otro sentido de circulación con destino a Loja.

Considerando que se puede asumir que cada grupo de horas tiene una distribución normal, se procedió a calcular la velocidad de operación. Las velocidades de operación de vehículos livianos respecto a las horas del día para las cuatro carreteras (ida y vuelta) se muestran en las Figuras 1-4.

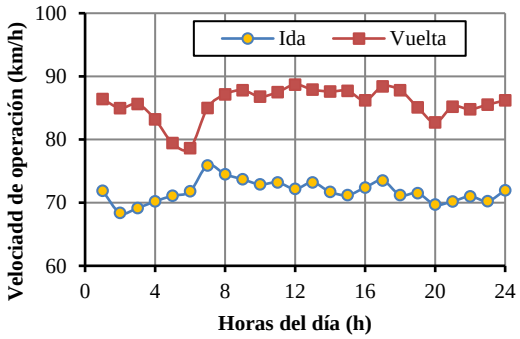


***Figura 1**. Velocidades de operación versus horas del día para la carretera Loja-Catamayo (ida y vuelta)*

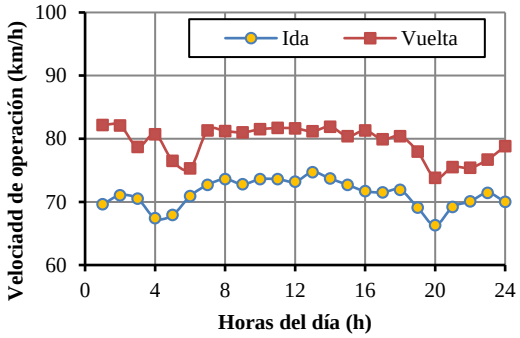


***Figura 2**. Velocidades de operación versus horas del día para la carretera Loja-Vilcabamba (ida y vuelta)*

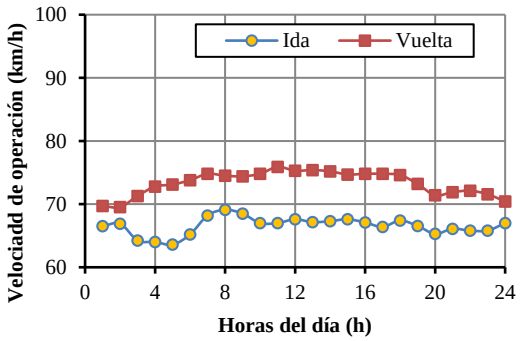


***Figura 3**. Velocidades de operación versus horas del día para la carretera Loja-Zamora (ida y vuelta)*

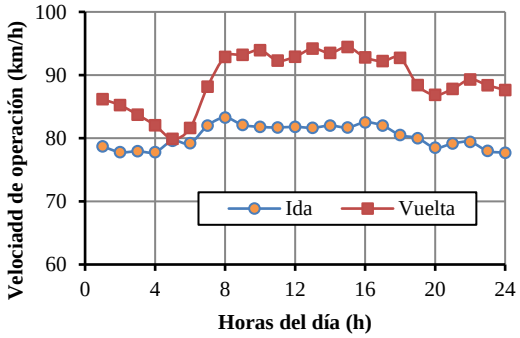


***Figura 4**. Velocidades de operación versus horas del día para la carretera Loja-Cuenca (ida y vuelta)*

En la Figuras 1-4 se puede observar que existen más variaciones de velocidad en las horas de la noche que las del día. Generalmente, la velocidad de operación se mantiene aproximadamente constante durante el día decrece con la reducción de luminosidad del día y vuelve aumentar luego del amanecer. Las velocidades de operación máximas y mínimas para cada grupo de hora son mostradas en la Tabla 2 para cada una de las carreteras que son objeto del estudio.

En las primeras 4 columnas de la Tabla 2 se puede observar que las horas en donde se obtiene las velocidades de operación máximas están entre las 07h00 y 15h00, mientras que las velocidades de operación mínimas están entre las 20h00 y las 06h00. El caso más desfavorable, desde el punto de vista de la seguridad vial, son las velocidades de operación máximas, por su relación con el aumento de probabilidad de estar envuelto en accidentes de tránsito.

3.2 Velocidades durante los días de la semana

En base al rango de horas en donde se obtienen las velocidades de operación máximas, se calculó la velocidad de operación entre las 07h00 y las 15h00 para cada día de la semana y para cada carretera, cuyos resultados están graficados en la Figuras 5-8. También se hizo un test de normalidad a los datos de velocidad en cada día mediante el test Anderson - Darling. Los resultados mostraron que en todos los días para todas las carreteras, las velocidades tienen una distribución normal al 95 % de confiabilidad. Esto es coherente ya que cuando se tiene una mayor cantidad de datos (en este caso 785 a 6690 observaciones por cada día), las observaciones tienden a una distribución normal.

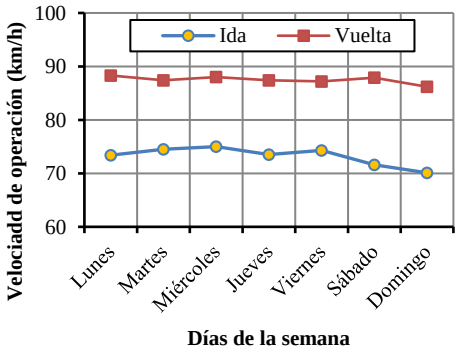


***Figura 5**. Velocidades de operación versus los días de la semana para la carretera Loja-Catamayo (ida y vuelta)*

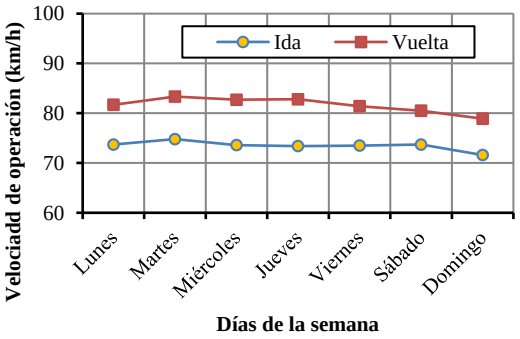


***Figura 6**. Velocidades de operación versus los días de la semana para la carretera Loja-Vilcabamba (ida y vuelta)*

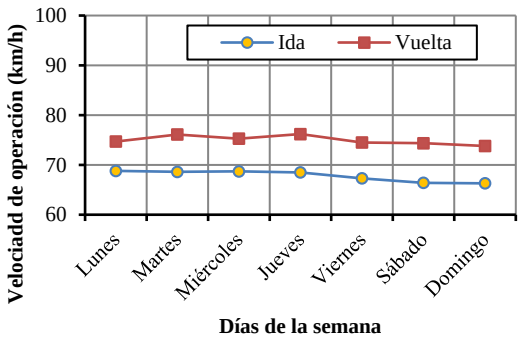


***Figura 7**. Velocidades de operación versus los días de la semana para la carretera Loja-Zamora (ida y vuelta)*

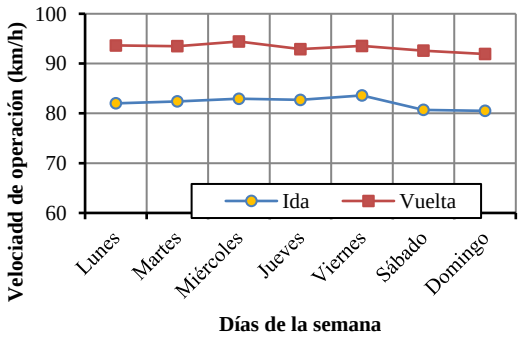


***Figura 8**. Velocidades de operación versus los días de la semana para la carretera Loja-Cuenca (ida y vuelta)*

En las Figuras 5-8 se puede ver que, generalmente, en todas las carreteras las gráficas de las velocidades de operación tienen una ligera tendencia a la baja conforme pasan los días. Los días en donde se obtuvo velocidades de operación máximas y mínimas también se muestran en la Tabla 2, en donde, las diferencias entre las velocidades máximas y mínimas varían entre 2,1 a 4,9 km/h.

En base a la Tabla 2 se puede decir que no se debería muestrear el día domingo, ya que la mayoría de registros se obtiene el valor más bajo de la semana. En esa tabla también se observa que las velocidades de operación máximas se obtuvieron de lunes a viernes. Para determinar si las velocidades eran estadísticamente diferentes del día del valor máximo de velocidad se realizó un análisis de varianza. Estos resultados mostraron que existen diferencias estadísticas con p=0,000. Para identificar las diferencias entre las velocidades de operación entre los días de la semana, se realizó una prueba de comparación múltiple de Tukey con un error de 0,05. Estos resultados también se muestran en la Tabla 2.

De la última columna de la Tabla 2 se puede decir que, en general, las velocidades estadísticamente diferentes a las velocidades de operación máximas registradas son las de los días sábado y domingo, lo que significa que la recolección de datos en el resto de días es muy similar y además, en ellos se obtienen las velocidades más altas.

4. DISCUSIÓN

Este artículo tuvo por objetivo determinar si las velocidades de operación en carreteras rurales de dos carriles varían entre días de la semana y entre horas del día. Para ello se recolectaron velocidades de 4 carreteras rurales de dos carriles con el equipo MetroCount modelo MC5600 plus.

Las velocidades de operación entre las 07h00 hasta las 15h00 no fueron estadísticamente diferentes entre sí, por lo que la recolección de datos en cualquier hora de este período no afectaría las conclusiones de los estudios relacionados a la velocidad. No obstante, pocos estudios han recolectado las velocidades cerca de ese período de tiempo, por ejemplo: 08h30 a 14h00 (Pérez et al., 2010), 08h00 a 16h00 (Catbagan y Nakamura, 2008), 06h05 a 10h20 y 06h40 a 10h05 (Tok et al., 2009).

Tabla 2. Velocidades de operación mínima y máxima por cada hora del día y por cada día de la semana y los resultados de la prueba Tukey para las carreteras del estudio

Carretera	Velocidades de operación mínima y máxima por cada hora del día				Velocidades de operación mínima y máxima por día				Resultados de la prueba Tukey*
	Vmín (km/h)	Hora de Vmín (h)	Vmáx (km/h)	Hora de Vmáx (h)	Vmín (km/h)	Día de Vmín (h)	Vmáx (km/h)	Día de Vmáx (h)	
Loja – Catamayo	68,4	01h00	75,9	07h00	70,1	Domingo	75,0	Miércoles	Sábado y domingo
Catamayo – Loja	78,6	06h00	88,7	12h00	86,2	Domingo	88,3	Lunes	Domingo
Loja – Vilcabamba	66,3	20h00	74,7	13h00	71,6	Domingo	74,8	Martes	Domingo
Vilcabamba – Loja	73,8	20h00	82,2	13h00	78,9	Domingo	83,3	Martes	Sábado y domingo
Loja – Zamora	63,6	05h00	69,1	08h00	66,3	Domingo	68,8	Lunes	Viernes, sábado y domingo
Zamora – Loja	69,5	02h00	75,9	11h00	73,8	Domingo	76,2	Martes	Sábado y domingo
Loja – Cuenca	77,7	24h00	83,3	08h00	80,5	Domingo	83,6	Viernes	Domingo
Cuenca – Loja	79,9	05h00	94,5	15h00	91,9	Domingo	94,3	Miércoles	Domingo

* Días estadísticamente diferentes al día de la velocidad máxima

Por otro lado, las velocidades de operación no fueron estadísticamente diferentes entre los días lunes a viernes para casi todas las carreteras, es decir, que la recolección de datos para cualquiera de esos días, no afectaría las conclusiones de los estudios relacionados a la velocidad. De los estudios analizados, sólo pocos analizaron estos días por separado, por ejemplo Catbagan y Nakamura (2008) separaron los días de la semana con los feriados; asimismo, Figueroa y Tarko (2005) y Pérez et al. (2010) recolectaron datos durante la semana laboral. En los otros casos, sus resultados (modelos y conclusiones) fueron afectados al no discriminar las velocidades de los días laborables de la semana y los días no laborables.

En este estudio, generalmente, las velocidades fueron normalmente distribuidas, lo cual está acorde a los estudios previos de velocidad (Bennett, 1994; Figueroa y Tarko, 2005; Fitzpatrick et al., 2010; Pérez et al., 2010). Esto distribución forma parte de los supuestos de partida de ciertas técnicas estadísticas, tales como el ANOVA, análisis de regresión, t-test, entre otros.

Con respecto a las limitaciones del estudio, es necesario aclarar que aunque se tuvieron relativamente pocos datos en cada carretera, éstos estuvieron distribuidos a lo largo de 6 meses: desde diciembre a mayo. Asimismo, dado el entorno montañoso y a que las carreteras fueron carreteras rurales de dos carriles, se puede explicar las velocidades bajas comparadas con autopistas o carreteras con diseños geométricos más generosos. Por otro lado, en lo que respecta al contador neumático, es posible que no haya afectado la velocidad de los conductores, dado que se encontraron tendencias similares de velocidad en los distintos periodos que se recolectaron los datos y en cada carretera.

Previa a la recolección de velocidades para el desarrollo de modelos de velocidad de operación en carreteras es necesario realizar un análisis similar al que se hizo en este trabajo. En caso de no disponer con la información respectiva se puede recolectar velocidades de lunes a viernes durante las horas del día. En zonas similares a la evaluada se puede adoptar el periodo del día de 07h00 hasta las 15h00.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de la República del Ecuador y a la Universidad Técnica Particular de Loja por la ayuda otorgada para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

Bennett, C. R. (1994). *A speed prediction model for rural two-lane highways* (Tesis de Doctorado de Filosofía en Ingeniería). Universidad de Auckland. Auckland.

Catbagan, J., & Nakamura, H. (2008). Desired Speed Distributions on Two-Lane Highways Under Various Conditions. *Transportation Research Board*, 2088(1), 218–226. DOI: http://dx.doi.org/10.3141/2088-23

Collins, K. M., & Krammes, R. A. (1996). Preliminary validation of a speed–profile model for design consistency evaluation. *Transportation Research Board*, 1523(1), 11–21. DOI: http://dx.doi.org/10.3141/1523-02

Crisma, B., Marchionna, A., Perco, P., Robba, A., & Roberti, R. (2005). Operating speed prediction model for two-lane rural roads. *3er. International Symposium on Highway Geometric Desing* (pág. 22). Chicago: Transportation Research Board.

Dell'Acqua, G., & Russo, F. (2010). Speed factors on low-volume roads for horizontal curves and tangentes. *The baltic journal of road and bridge engineering*, 5(2), 89–97. DOI: http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2010.13

Figueroa, A., & Tarko, A. (2005). Free-flow speed changes in the vicinity of horizontal curves. *3rd International Symposium on Highway Geometric Design*. 133, págs. 1–19. Chicago, Illinois: Transportation Research Board.

Fitzpatrick, K., Elefteriadou, L., Harwood, D., Collins, J. M., McFadden, J., Anderson, I., Krammes, R. A., Irizarry, N., Parma, K., Bauer, K. y Passetti, K. (2000). *Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways*. Washington D. C.: Office of Safety Research and Development.

Hassan, I. (2011). Analysis of speed characteristics for rural two-lane roads: A field study from Minoufiya Governorate, Egypt. *Ain Shams Engineering Journa*l, 2(1), 43–52. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2011.05.005

Hu, W., & Donnell, E. T. (2010). Models of acceleration and deceleration rates on a complex two-lane rural highway: results from a nighttime driving experiment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 13(6), 397–408. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2010.06.005

Mahoney, K. M., Porter, R. J., & Himes, S. C. (2007). Speed: How can we get what we want? *3rd. Urban Street Symposium. Seatle*, Washington.

Memon, R. A., Khaskheli, G. B., & Qureshi, A. S. (2008). Operating speed models for two-lane roads in Pakistan. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(5), 443–453. DOI: http://dx.doi.org/10.1139/L07-126

Microsoft Corporation. (2007). Microsoft Office Excel.

Minitab. (2005). MINITAB 14.20. State College, PA. Minitab, Inc.

Nie, B., & Hassan, Y. (2007). Modeling driver speed behavior on horizontal curves of different road classification. *86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 21–25.

Perco, P., & Robba, A. (2005). Evaluation of the deceleration rate for the operating speed-profile model. *3rd International SIIV Congress: People, Land, Environment and Transport Infrastructures - Reliability and Development.* Bari: Società Italiana Infrastrutture Viarie.

Pérez, A., García, A., Camacho, F., & D'Attoma, P. (2010). Use of gps data to model operating speed and deceleration on two-lane rural roads. *Transportation Research Board*, 2171(1), 11–20. DOI: http://dx.doi.org/10.3141/2171-02

Quaium, R. B. (2010). *A comparison of vehicle speed at day and night at rural horizontal curves* (Tesis de requerimiento parcial para el grado de Master en Ciencias). A&M Universidad de Texas. Texas.

Tok, A., Hernandez, S., & Ritchie, S. (2009). Accurate Individual Vehicle Speeds from Single Inductive Loop Signatures. *88th Annual Meeting of Transportation Research Board*, pág. 22.

Yasmany García-Ramírez es Ingeniero Civil en la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador) en el 2006. Especialista en Ingeniería de Caminos de Montaña en la Universidad Nacional de San Juan (Argentina) en el 2009. Doctor en Ingeniería Civil en la Universidad Nacional de San Juan (Argentina) en el 2014. Fue becario del SENESCYT (Ecuador) y CONICET (Argentina). Es docente asociado de la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador) en materias de diseño de carreteras y pavimentos. Su experiencia profesional ha estado relacionada con el diseño, inspección y mantenimiento de carreteras.

Belizario Zárate es Ingeniero Civil en la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador). Es máster universitario en Ingeniería Geológica aplicada a la obra civil en la Universidad de Granada (España), en donde, actualmente está cursando su doctorado. Es docente de la Universidad Técnica Particular de Loja, en donde, también es responsable de la sección de Estructuras, Transporte y Construcciones.

Soledad Segarra es Ingeniera Civil en la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador). Es máster universitario en Ingeniería Geológica aplicada a la obra civil en la Universidad de Granada (España), en donde, actualmente está cursando su doctorado. Es docente de la Universidad Técnica Particular de Loja, en donde, también es responsable de la titulación de Ingeniería Civil.

Julio González es Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Técnica Particular de Loja (Ecuador). Es máster universitario en Ingeniería Geológica aplicada a la obra civil en la Universidad de Granada (España). Es docente de la Universidad Técnica Particular de Loja de las materias de topografía elemental y aplicada. Es parte del grupo de gestión de la calidad de la Maestría Vial de la UTPL.

Análisis de Mediciones de Temperatura en Suelo sin Perturbar en Guayaquil - Ecuador

Morocho, Manuel[1]; Villanueva, Rubén[2]; Soriano, Guillermo[1]

[1]Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Centro de Energías Renovables y Alternativas, Guayaquil, Ecuador
[2]Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Quito, Ecuador

Resumen: En el presente artículo se muestran los resultados de las mediciones de temperatura del suelo sin perturbar en Guayaquil, Ecuador; un análisis de las mismas y su aplicación en investigaciones futuras. Las mediciones se hicieron, a través de dos métodos distintos, con el fin de identificar la metodología y los equipos más adecuados para obtener dicha variable y utilizarlos en pruebas de respuesta térmica, útiles para el diseño de intercambiadores de calor de suelo. Los métodos, descritos en la Sección 2 del artículo, consistieron en el uso de los equipos GeoCube™ y el datalogger de temperatura MicroTemp, de forma que con ellos se pudieran efectuar las mediciones de temperatura del suelo sin perturbar, considerando que con el datalogger se puede obtener el perfil de temperatura del suelo debido a que permite tomar mediciones individuales de temperatura a lo largo de toda la extensión del pozo. Con ellos, se obtuvieron valores de temperatura media y el perfil de temperatura del suelo para pozos ubicados en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, la Universidad de Guayaquil y el Centro Cívico de Guayaquil de 26,5±0,2% ºC, 28±0,2% ºC y 29±0,2% ºC para el GeoCube™ y de 26,8±0,3% ºC, 28,3±0,4% ºC y 29,9±0,3% ºC para el MicroTemp. Con estos resultados, se validaron las mediciones en cuestión y se estableció que la temperatura en el suelo debe medirse mensualmente durante un año completo, de forma que se disponga del perfil de la temperatura en el suelo a lo largo de todo un año para aplicaciones de diseño.

Palabras clave: Datalogger, GeoCube™, intercambiador de calor de suelo, MicroTemp, prueba de respuesta térmica, temperatura media del suelo sin perturbar.

Analysis of Temperature Measurements in Non-Disturbed Soil in Guayaquil - Ecuador

Abstract: In this article the results of undisturbed soil temperature measurements at Guayaquil, Ecuador; a measurement analysis, and their use for future applications are shown. The measurements were done through two different methods to identify suitable technology and methodology for obtaining soil temperature for its use in thermal response tests and borehole heat exchangers design. The methods, which are described in detail in the second Section of this article, consisted in using GeoCube™ and the temperature datalogger MicroTemp for obtaining undisturbed soil temperature measurements, considering datalogger can measure individual soil temperature values along all the heat exchanger. With these devices, for perforations located in Escuela Superior Politécnica del Litoral, the Universidad de Guayaquil and the Centro Cívico de Guayaquil, soil temperature distribution and average soil temperature values of 26,5±0,2% °C, 28±0,2% °C and 29±0,2% ºC were obtained for GeoCube™ and 26,8±0,3% ºC, 28,3±0,4% ºC and 29.9±0,3% ºC values were obtained for the MicroTemp. With these results, the soil temperature measurements were validated for its use in soil heat dissipation systems design and it was decided to do monthly soil temperature measurements along all one year as these soil temperature values could be used for design applications.

Keywords: Borehole heat exchanger, datalogger, GeoCube™, MicroTemp, soil average temperature without disturbing, thermal response test.

1. INTRODUCCIÓN

Los intercambiadores de calor de suelo (BHE del inglés *Borehole Heat Exchanger*) son dispositivos que actualmente tienen mucha utilidad en el acondicionamiento térmico de espacios (Soriano & Siguenza, 2015). Su principio de operación, en el que utilizan al suelo como sumidero o fuente de calor, y su buen desempeño los hacen más atractivos para el diseño de sistemas de acondicionamiento de espacios que equipos convencionales. Sin embargo, el gran costo de construcción de los pozos en donde se emplazan es un aspecto que limita su elección con respecto a los equipos existentes. De esta forma, el diseño y construcción de los BHEs con su respectivo pozo, representan tareas muy importantes en

memoroch@espol.edu.ec

Recibido: 09/11/2016
Aceptado: 09/03/2017
Publicado: 31/10/2017

proyectos de esta índole. Existen muchas variables que determinan el diseño óptimo de un BHE. Dos de estas variables son la conductividad y la difusividad del suelo, por lo que la obtención de los valores correctos de las mismas es esencial para obtener un diseño adecuado. Para determinar dichos parámetros se suele hacer una prueba de respuesta térmica (TRT del inglés *Thermal Response Test*) en la que las variables de interés se calculan utilizando mediciones de temperatura y de calor transferido entre el fluido del BHE y el suelo (Soriano, Villanueva, González, Montero, & Cornejo, 2015). Uno de los parámetros que se mide es la temperatura del suelo sin perturbar, por lo cual puede notarse que el diseño del BHE depende directamente de esta variable. Teniendo lo anterior en cuenta, se ha optado por hacer un estudio para comparar y validar las mediciones de temperatura media del suelo sin perturbar obtenidas a través de dos métodos diferentes, con el fin de realizar TRTs y obtener los valores adecuados de resistencia y conductividad del suelo; además de analizar los perfiles de temperatura del suelo sin perturbar para ver el comportamiento de su gradiente local y notar las implicaciones que esto tiene en el diseño de BHEs para su uso en la ciudad de Guayaquil.

El presente artículo tiene como fin describir brevemente dos de los métodos comúnmente utilizados para determinar la temperatura media del suelo sin perturbar, comparar y validar sus resultados y hacer observaciones en cuanto a los equipos necesarios, sus mediciones y sus ventajas con respecto a la obtención de la temperatura para pruebas TRT y el diseño de BHEs. Para el estudio, de acuerdo con Soriano et al. (2017), se dispuso de tres pozos ubicados en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), la Universidad de Guayaquil y el Centro Cívico de Guayaquil. Los pozos cuentan con BHEs de tubería en u vertical con profundidades estimadas entre 50 y 60 m de acuerdo con la información especificada por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (2014). En la Tabla 1 se muestran la ubicación y profundidad de los pozos. En la Sección 2 se presentan los métodos y equipos utilizados para desarrollar las mediciones; y en las Secciones 3 y 4 se analizan los resultados obtenidos y se dan posibles explicaciones acerca del porqué de los mismos. Finalmente, en la Sección 5 se muestran las conclusiones más relevantes obtenidas en el presente estudio.

2. MÉTODOS

Existen varias metodologías para medir la temperatura media del suelo sin perturbar. Un método consiste en utilizar equipos para hacer TRTs que permitan medir la temperatura del suelo sin perturbar. Un ejemplo puede encontrarse en el equipo GeoCube™, mostrado en la Figura 1, de la empresa *Precision Geothermal* el cual permite, a través del TRT, hacer mediciones de las variables necesarias para determinar la conductividad y difusividad del suelo. Una de estas variables es precisamente el valor medio de la temperatura del suelo sin perturbar. Para esto, se debe hacer circular agua que haya alcanzado el equilibrio térmico con el suelo a través del BHE mediante la bomba del GeoCube™ y mediante los termómetros del mismo equipo se mide la temperatura del agua en circulación (Dth Rotary Drilling, 2009). Estos termómetros cuentan con una resolución de ±0,2 ºC (Precision Geothermal, 2007).

Tabla 1. Localización y profundidad de los pozos utilizados para la medición de la temperatura

Ubicación de pozo	Profundidad (m)	Posición X	Posición Y
ESPOL	60	616 350,25	9 762 495,55
Universidad de Guayaquil	60	622 554,09	9 759 392,59
Centro Cívico de Guayaquil	60	623 103,20	9 756 112,67

Figura 1. GeoCube™.

Otro método consiste en el uso de una sonda de temperatura para efectuar mediciones de temperatura en agua almacenada en el interior de la tubería del BHE a lo largo de toda la profundidad del mismo para hallar el perfil de temperatura del suelo y con ello obtener un valor de temperatura media del intercambiador. Para esto, la sonda debe hacerse con un sensor que permita ser programado para tomar mediciones de temperatura cada cierto tiempo de forma que, según los intervalos de tiempo, puedan tomarse un mismo número de mediciones de temperatura a una misma profundidad y variando la misma a intervalos de distancia fijos empleando el menor tiempo posible. Esto puede conseguirse a través de un *datalogger* de temperatura, como el que se muestra en la Figura 2, el cual es un sensor que permite programar la forma en que las mediciones de temperatura pueden tomarse. Así, mediante el GeoCube™ y una sonda de temperatura conformada por un cable de acero galvanizado de 3/16" y 62,5 m de largo y el *datalogger* de temperatura, MicroTemp, de la marca MadgeTech, con una resolución de ±0,2 ºC (MadgeTech, 2016), se aplicaron los métodos anteriormente descritos.

Con los valores de temperatura del suelo a una profundidad dada $T_{i,datalogger}$, obtenidos a partir de 10 mediciones, hechas con el *datalogger*, para un mismo punto en el suelo y haciendo un análisis estadístico adecuado para la obtención de sus incertidumbres (Holman, 1994), se haya la temperatura media a partir de los mismos mediante la Ecuación (1).

$$\bar{T}_{datalogger} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} T_{i,datalogger} \quad (1)$$

Figura 2. Datalogger de temperatura MicroTemp.

Donde $\bar{T}_{datalogger}$ representa la temperatura media obtenida por las mediciones hechas con el *datalogger* y *n* representa el número de datos obtenidos para un determinado BHE, valor que depende en sí de la longitud del mismo y en el tamaño de los intervalos. Las mediciones de temperatura con el *datalogger* se hicieron considerando intervalos de 2,5 m.

Por último, con la información disponible, se pueden estimar las incertidumbres de los valores de temperatura media siguiendo la metodología mostrada en la literatura (Kline & McClintock, 1953). Así, la incertidumbre, *u*, mediante sus *componentes de incertidumbre tipo A* y *tipo B*, u_Ay u_B, respectivamente, puede calcularse con las Ecuaciones (2), (3) y (4) (Servicio de Acreditación Ecuatoriano, 2014).

$$u_A = \frac{1}{n}\sqrt{\sum_{i=1}^{n} {u_i}^2} \quad (2)$$

$$u_B = \frac{Resolución\ de\ datalogger}{\sqrt{3}} = \frac{0{,}1}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

$$u = \sqrt{{u_A}^2 + {u_B}^2} \quad (4)$$

Donde u_i representa la incertidumbre de cada valor de temperatura del suelo obtenido después del análisis estadístico mostrado en la obra de Holman (1994) a través de los valores medidos con el *datalogger*.

3. RESULTADOS

En las Tablas 2-6 y Figuras 3-5 se presentan los datos medidos con el GeoCube™ y el MicroTemp en los BHEs de los pozos mencionados, los perfiles reales de temperatura del suelo sin perturbar obtenidos con el *datalogger* y los valores medios de temperatura calculados con la Ecuación (1) y sus respectivas incertidumbres obtenidas por las Ecuaciones (2), (3) y (4).

Tabla 2. Valores de temperatura media del suelo sin perturbar obtenidos a partir del uso del GeoCube™

Ubicación de pozo	Temperatura media del suelo sin perturbar (ºC) medida por el GeoCube™
ESPOL	26,5 ±0,2
Universidad de Guayaquil	28,0±0,2
Centro Cívico de Guayaquil	29,0±0,2

Tabla 3. Valores de perfil de temperatura del suelo sin perturbar a profundidad específica para pozo ubicado en la ESPOL obtenidos a partir del uso del MicroTemp

Profundidad (m)	Temperatura media del suelo sin perturbar (ºC) a profundidad específica
47,5	26,0±0,2% (999 a 1)
45	26,0±0,3% (999 a 1)
42,5	26,0±0,2% (999 a 1)
40	26,1±0,3% (999 a 1)
37,5	26,1±0,3% (999 a 1)
35	26,1±0,3% (999 a 1)
32,5	26,1±0,3% (999 a 1)
30	26,2±0,2% (999 a 1)
27,5	26,2±0,3% (999 a 1)
25	26,3±0,2% (999 a 1)
22,5	26,4±0,3% (999 a 1)
20	26,5±0,3% (999 a 1)
17,5	26,8±0,4% (999 a 1)
15	27,0±0,3% (999 a 1)
12,5	27,2±0,2% (999 a 1)
10	27,5±0,5% (999 a 1)
7,5	27,8±0,6% (999 a 1)
5	28,1±0,6% (999 a 1)
2,5	28,6±1,0% (999 a 1)
0	29,1±3,3% (999 a 1)

Tabla 4. Valores de perfil de temperatura del suelo sin perturbar a profundidad específica para pozo ubicado en la Universidad de Guayaquil obtenidos a partir del uso del MicroTemp

Profundidad (m)	Temperatura media del suelo sin perturbar (ºC) a profundidad específica
42,5	27,5±0,2% (999 a 1)
40	27,5±0,3% (999 a 1)
37,5	27,6±0,3% (999 a 1)
35	27,6±0,2% (999 a 1)
32,5	27,7±0,2% (999 a 1)
30	27,7±0,3% (999 a 1)
27,5	27,8±0,3% (999 a 1)
25	27,9±0,3% (999 a 1)
22,5	28,1±0,2% (999 a 1)
20	28,2±0,2% (999 a 1)
17,5	28,4±0,3% (999 a 1)
15	28,6±0,4% (999 a 1)
12,5	28,7±0,3% (999 a 1)
10	28,8±0,3% (999 a 1)
7,5	29,0±0,3% (999 a 1)
5	29,2±0,3% (999 a 1)
2,5	29,7±0,7% (999 a 1)
0	30,3±4,7% (999 a 1)

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de temperatura media del suelo sin perturbar obtenidas por el GeoCube™ y el MicroTemp se muestran en las Tablas 2 y 6, respectivamente. Puede notarse que en los resultados correspondientes a cada pozo hay una diferencia máxima del orden de 0,3 ºC, a excepción de los resultados obtenidos en el Centro Cívico de Guayaquil. Esta diferencia, con respecto al cambio de temperatura esperado en el fluido del intercambiador durante su operación, puede ser despreciada lo cual valida los resultados obtenidos por ambos métodos y su uso para calcular la resistencia y la difusividad del suelo. Con respecto a las incertidumbres presentadas en los resultados y en base al valor de incertidumbre aceptada de ±0,3 ºC para mediciones de temperatura en el suelo señalada en la documentación de la Sociedad americana de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado (ASHRAE del inglés American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) (2011), los resultados tuvieron

valores muy por debajo del valor comúnmente aceptado, lo cual permite también validar los mismos.

Tabla 5. Valores de perfil de temperatura del suelo sin perturbar a profundidad específica para pozo ubicado en el Centro Cívico obtenidos a partir del uso del MicroTemp

Profundidad (m)	Temperatura media del suelo sin perturbar (ºC) a profundidad específica
32,5	28,6±0,3% (999 a 1)
30	28,7±0,2% (999 a 1)
27,5	28,8±0,3% (999 a 1)
25	28,9±0,3% (999 a 1)
22,5	29,1±0,2% (999 a 1)
20	29,3±0,3% (999 a 1)
17,5	29,5±0,3% (999 a 1)
15	29,7±0,2% (999 a 1)
12,5	29,9±0,4% (999 a 1)
10	30,3±0,4% (999 a 1)
7,5	30,7±0,4% (999 a 1)
5	31,1±0,5% (999 a 1)
2,5	31,9±0,8% (999 a 1)
0	32,2±0,2% (999 a 1)

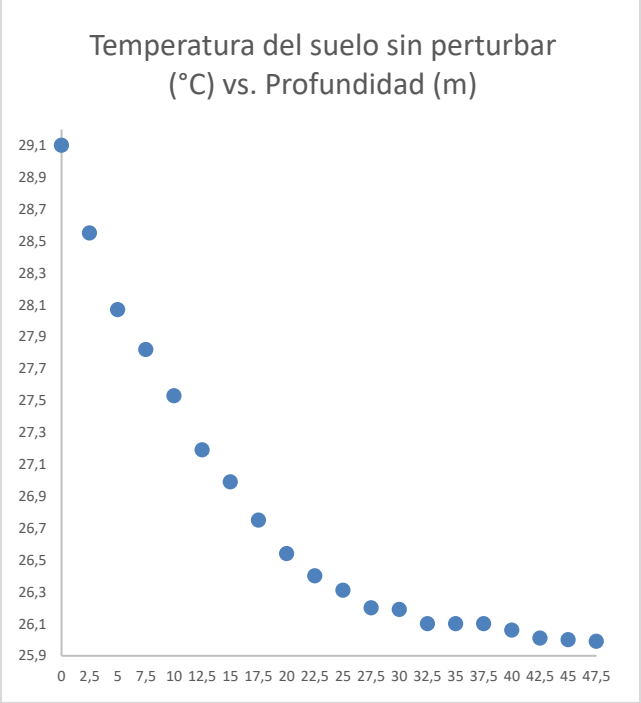


Figura 3. Perfil real de temperatura del suelo sin perturbar en ESPOL, medido con datalogger MicroTemp.

En el caso del pozo ubicado en el Centro Cívico, los resultados presentan una diferencia de 0,9 ºC, la cual no es despreciable. Sin embargo, esta diferencia puede atribuirse al hecho de que las mediciones con el *datalogger* no se pudieron efectuar en toda la extensión del pozo debido al imprevisto deterioro de la tubería en u del BHE. Esta falta de datos pudo provocar que la distribución de temperatura obtenida con el sensor se encuentre sesgada respecto a la distribución de temperatura real provocando una diferencia de la media de ambas distribuciones.

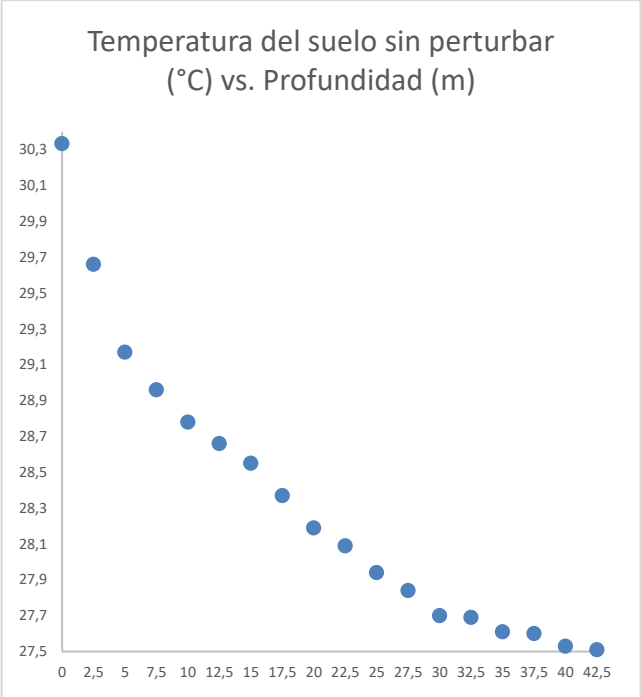


Figura 4. Perfil real de temperatura del suelo sin perturbar en la Universidad de Guayaquil, medido con datalogger MicroTemp.

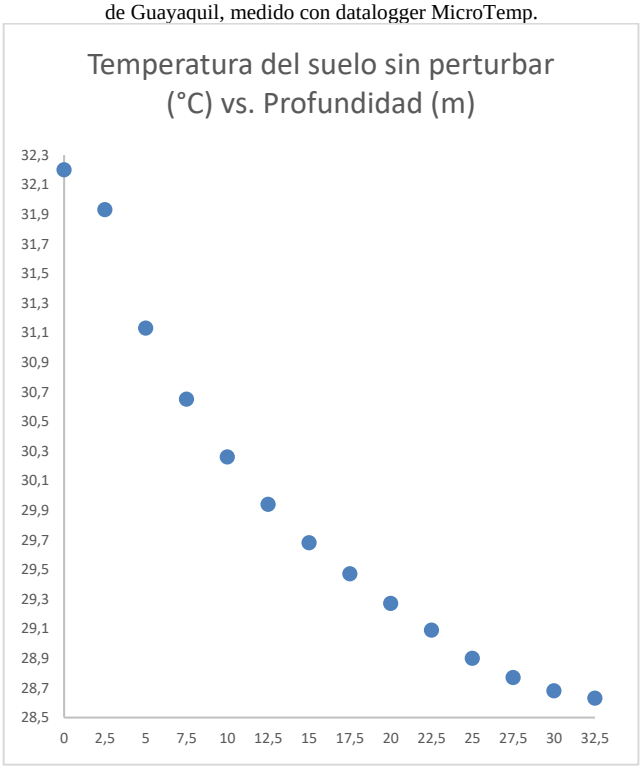


Figura 5. Perfil real de temperatura del suelo sin perturbar en el Centro Cívico de Guayaquil, medido con datalogger MicroTemp.

Con respecto a las Figuras 3, 4 y 5, que presentan los perfiles reales de temperatura en el suelo, hay muchos aspectos que se pueden resaltar y que resultan útiles para el diseño de BHEs.

Puede observarse que los gradientes de temperatura (pendientes de las curvas de las Figuras 3, 4 y 5) disminuyen a medida que aumenta la profundidad en el suelo lo cual, a través de la *ecuación de Fourier para la transferencia de calor por conducción*, lleva a notar que a medida que se avanza en profundidad la ganancia en transferencia de calor comienza a

disminuir considerablemente. Esto permite pensar en una *longitud óptima* de tubería para un intercambiador vertical de suelo que debería considerarse para el diseño de BHEs verticales, en donde, después de la longitud en cuestión, el ahorro generado por la transferencia de calor que se gana no logra suplir el costo de construcción adicional para que el BHE alcance una mayor profundidad. Esta longitud óptima de tubería para BHEs verticales puede hallarse a través de los datos de los perfiles reales de temperatura de suelo sin perturbar, permitiendo optimizar el diseño de BHEs verticales.

Otro aspecto que se genera por la misma variación del gradiente de temperatura a medida que la profundidad en el suelo aumenta es el hecho de que, para cambios de profundidad fijos, los cambios de temperatura disminuyen a medida que la profundidad aumenta: Esto lleva a considerar que para BHEs horizontales habrá algún nivel de profundidad para el cual la ganancia en transferencia de calor por el aumento de la profundidad no logre justificar el aumento del costo de construcción del pozo, haciendo notar la necesidad de utilizar los datos de los perfiles de temperatura del suelo sin perturbar para optimizar también el diseño y construcción de BHEs horizontales y sus correspondientes pozos.

Tabla 6. Valores de temperatura media del suelo sin perturbar obtenidos a partir del uso del MicroTemp y la Ecuación (1)

Ubicación de pozo	Temperatura media del suelo sin perturbar (ºC) obtenida por la Ecuación (1) y mediciones realizadas con el MicroTemp
ESPOL	26,8 ±0,3%
Universidad de Guayaquil	28,3±0,4%
Centro Cívico de Guayaquil	29,9±0,3%

Por último, es interesante resaltar la diferencia entre la temperatura del aire encima del suelo y la temperatura superficial del mismo. Debido a que, localmente, el aire tiene un valor de temperatura promedio aproximado de 27 ºC, de acuerdo con el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2015), puede observarse, mediante las Figuras 3, 4 y 5, que esta diferencia es menor que la diferencia de temperatura que se alcanza a lo largo de todo el BHE, lo cual es una clara muestra de la superioridad de los sistemas de acondicionamiento geotérmicos, en términos de la transferencia de calor, sobre los equipos de acondicionamiento convencionales.

5. CONCLUSIONES

Se describieron dos de los métodos utilizados para medir la temperatura media del suelo sin perturbar. Se detallaron los procedimientos utilizados y, brevemente, los equipos necesarios para llevarlos a cabo.

Se compararon los resultados obtenidos por ambos métodos y sus equipos necesarios. Con base a las diferencias de temperatura encontradas, se validaron los resultados obtenidos a través de los dos equipos descritos considerando que el uso de los mismos permitiría obtener valores de resistencia y difusividad muy aproximados a los reales a través de un TRT.

Se encontró que a partir de aproximadamente 42,5 m de profundidad la temperatura del suelo comienza a estabilizarse. Esta longitud representa un *primer límite* para la profundidad de un pozo y la extensión de su respectivo BHE puesto que, por lo expuesto en la Sección 4, para longitudes mayores, el aumento en la transferencia de calor ya no puede justificar los costos de ampliación de profundidad del pozo. A su vez, este primer límite de longitud representa una pauta para encontrar la *longitud óptima de tubería* para un BHE vertical, descrita así mismo en la Sección 4.

Se concluye además que es recomendable utilizar el *datalogger* por encima del equipo para realizar TRT para los casos en los que la tubería del BHE no presente daños y permita registrar la temperatura en toda la extensión del pozo.

El datalogger permite alcanzar valores de incertidumbre bajos con una alta probabilidad y hallar el perfil real de temperatura del suelo sin perturbar, el cual puede utilizarse para optimizar diseños de BHEs horizontales y verticales, como se describió en la Sección 4, además de poder ser utilizado como perfil inicial de temperatura del suelo para simulaciones del comportamiento del BHE.

Por último, debido a los resultados mostrados en este artículo, se decidió utilizar las mediciones de temperatura obtenidas para llevar a cabo investigaciones enfocadas a la optimización del diseño de BHEs horizontales y verticales, análisis de costo-beneficio del uso de varios BHEs y en distintas configuraciones (en serie o en paralelo) para un mismo pozo e investigaciones referentes al análisis y diseño de bombas de calor de suelo (GHP del inglés *Ground Heat Pump*). La medición de temperatura en el suelo se hará mensualmente a lo largo de todo un año, de forma que los diseños y análisis de los BHEs dispongan de los datos del perfil de temperatura del suelo sin perturbar de dicho año.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la directiva de la Universidad de Guayaquil y del Centro Cívico de Guayaquil por haber permitido que se realicen las mediciones de temperatura en sus instalaciones.

REFERENCIAS

ASHRAE. (2011). Geothermal Energy. En ASHRAE, *2011 ASHRAE Handbook* (págs. 34.1-34.34). ASHRAE.

Dth Rotary Drilling. (2009). *Borehole logging: GeoCube cuts energy uncertainty*. Obtenido de Dth Rotary Drilling Web Site: http://dthtotarydrilling.com

Holman, J. (1994). *Experimental methods for engineers.* New York: McGraw Hill Inc.

INAMHI. (2015). *Anuario Meteorológico.* INAMHI.

INER. (2014). *Informe preliminar consolidado del conjunto de datos para el proyecto: "Uso del suelo como sumidero de calor para reemplazo de torres de enfriamiento/enfriadores evaporativos" en Guayaquil.* Quito: INER.

Kline, S., & McClintock, F. (1953). Describing uncertainties in single-sample experiments. *Mech. Eng.*, 3-8.

MadgeTech. (2016). *MicroTemp Datalogger Specifications*. Obtenido de MadgeTech Web Site: http://international.madgetech.com

Precision Geothermal. (2007). *Precision Geothermal DLL*. Obtenido de Precision Geothermal Web Site: http://precisiongeothermal.com

Servicio de Acreditación Ecuatoriano. (2014). *Incertidumbre de las mediciones.* Quito: SAE.

Soriano, G., & Siguenza, D. (2015). Thermal performance of a borehole heat exchanger located in Guayaquil-Ecuador using novel heat transfer fluids. *ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress and Exposition.* Houston: American Society of Mechanical Engineers.

Soriano, G., Espinoza, T., Villanueva, R., González, I., Montero, A., Cornejo, M., & López, K. (2017). Thermal geological model of the city of Guayaquil, Ecuador. *Geothermics*, 101-109.

Soriano, G., Villanueva, R., González, I., Montero, A., & Cornejo, M. (2015). First in situ measurement of soil thermal response in Guayaquil, Ecuador. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 327-336.

Manuel Morocho es Analista de laboratorio en el Centro de Energías Renovables y Alternativas (CERA) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Manuel tiene el título de Ingeniero Mecánico ofertado por la ESPOL. Sus intereses de investigación se centran en las áreas de geotermia y turbomaquinaria para aplicaciones de micro–generación eléctrica y propulsión. Sus últimos trabajos se han enfocado en la simulación de flujos bifásicos en turbinas hidráulicas de impulso y la simulación del desempeño de bombas de calor geotérmicas instaladas en la ciudad de Guayaquil.

Rubén Villanueva es Técnico docente en el Laboratorio de Ensayos Térmicos de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER). Tiene una maestría en Ingeniería Industrial con especialidad en Ingeniería Energética y de Fluidos obtenida en la Universidad de Oviedo. Sus intereses profesionales se centran en el ámbito de las energías renovables, la gestión de proyectos y procesos. Sus últimos trabajos se han centrado en el diseño de instalaciones y su análisis operativo.

Guillermo Soriano es el director del Centro de Energías Renovables y Alternativas (CERA) y es profesor agregado de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Guillermo tiene el título de Ingeniero Mecánico de la ESPOL, una maestría en Ingeniería Industrial del Georgia Institute of Technology y su doctorado en Ingeniería Mecánica de la Texas A&M University. Sus intereses de investigación se centran en el área de ciencias térmicas y su aplicación en sistemas energéticos. Últimamente se ha enfocado en el comportamiento térmico de envolventes de edificios y en sistemas HVAC.

Estudio Del Comportamiento De Un Motor Ciclo Otto De Inyección Electrónica Respecto De La Estequiometría De La Mezcla Y Del Adelanto Al Encendido Para La Ciudad De Cuenca.

Rivera, Néstor[1]; Chica, Juan[1]; Zambrano, Iván[2]; García, Cristian[1]

[1]Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Cuenca, Ecuador
[2]Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, Ecuador

Resumen: La ciudad de Cuenca se encuentra a 2550 msnm, lo que ocasiona reducción de la potencia en los motores de los vehículos automotores debido a la disminución de la presión atmosférica y de la cantidad de oxígeno en el aire, acarreando un aumento en la emisión de contaminantes en los gases de escape y el incremento del consumo de combustible. A ello debe sumarse los tipos de combustibles disponibles en el mercado, que generan diferentes respuestas en los motores de combustión interna. Mediante un diseño experimental factorial de dos niveles con puntos intermedios se determina el grado de influencia que tiene la gasolina extra y súper, además de la estequiometría de la mezcla y del adelanto al encendido en el funcionamiento del motor. En base a optimización se modifica el punto de funcionamiento del motor consiguiendo mejorar las prestaciones en un 1.59% y reducir concentraciones de emisiones contaminantes hasta un 8%.

Palabras clave: Adelanto al encendido, emisiones contaminantes vehiculares, motor ciclo Otto, lambda.

Study Of The Behavior Of An Otto Engine Of Electronic Injection In Relation To The Stoichiometry Of The Mixture And The Advance To The Ignition For Cuenca City.

Abstract: The city of Cuenca is located at 2550 meters above sea level, which causes a decrease in engine power of motor vehicles due to decreased atmospheric pressure and the amount of oxygen in the air, bringing an increase in the emission of pollutants in the exhaust and increased fuel consumption. Add to that the fuel types available on the market, generating different responses in internal combustion engines. Using a factorial experimental design of two levels with intermediate points the degree of influence that the extra gas and super addition to the stoichiometry of the mix and advance the ignition engine operation is determined. Based on optimizing the operating point of the engine is modified achieving improved performance and emissions.

Keywords:Time ignition, vehicle emissions, Otto engine, lambda.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria en general y en la automotriz continuamente se realizan investigaciones que tienen como objeto la mejora en el desempeño de los sistemas. La inclusión de sistemas de gestión electrónica en vehículos ha contribuido a elevar la eficacia y la eficiencia de los sistemas en los que estos se implementan. Las mejoras conseguidas están estrechamente ligadas a las configuraciones y calibraciones de los sistemas (Pulkrabek, 2004) que son realizadas en laboratorios especializados que consideran al nivel del mar como referencia y el uso de combustibles disponibles en las regiones en donde se realizan las calibraciones antes mencionadas. La importancia del estudio planteado es la pérdida que causa al proceso de combustión el operar de la manera actual como se muestra en (Castaño & Patiño, 2003), para nuestro caso el hecho que los motores de combustión interna operen bajo condiciones no óptimas en ciudades que sobrepasan los 2000 msnm ocasiona pérdidas económicas y ambientales producidas por el mayor consumo de combustible, la menor generación de potencia y la mayor concentración de contaminantes en los gases de escape (Calza & Ángel, 2011), de allí la necesidad de encontrar un punto de funcionamiento especial diferente al determinado por el fabricante para mejorar el desempeño del motor en las condiciones antes señaladas.

nrivera@ups.edu.ec

Recibido: 01/06/2016
Aceptado: 08/06/2017
Publicado: 31/10/2017

2. MARCO TEÓRICO

El motor de combustión interna alternativo de encendido provocado, es el encargado de transformar la energía termoquímica del combustible (gasolina) en energía mecánica, misma que posteriormente será utilizada para producir el desplazamiento del automóvil. La característica fundamental de este motor es que el inicio de la combustión se produce un aporte de energía externo al ciclo termodinámico, al hacer saltar una chispa en los electrodos de la bujía, debiendo producirse en el momento adecuado para conseguir que el proceso de combustión sea lo más eficiente posible. Entre las principales variables del motor se encuentran las siguientes: el factor Lambda, el Adelanto al encendido, el Régimen de Giro, la Carga y el Combustible. La altitud a la que trabajan los motores de combustión interna, tiene una influencia directa sobre su funcionamiento, debido a la perdida de potencia por la disminución de la densidad del aire a mayores altitudes.

3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Entre las estrategias más utilizadas en optimización y mejora continua se encuentra el diseño de experimentos mediante el Ciclo de Deming (Montgomery, 2012), que constituye una estrategia para conseguir mejoras continuas tanto en procesos como en productos, aplicando las etapas:

1. Diseño del plan experimental
2. Realización de las corridas experimentales.
3. Análisis de resultados.
4. Implementación de los resultados.

Se parte de la hipótesis de que un motor de combustión interna ciclo Otto puede trabajar de mejor manera que la prestablecida por el fabricante bajo las condiciones atmosféricas generadas en la ciudad de Cuenca.

3.1 *Unidad Experimental*

La unidad experimental utilizada para la realización de las pruebas es un vehículo pick up cuyas características se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Características del vehículo de experimentación

Tipo	Pick up
Motor	2.7 i
Potencia Máxima	152 HP @ 4800 RPM
Torque	240 Nm @4000 RPM
Cilindrada	2694 cm3
Número de cilindros	4
Relación de Compresión	9.5
Sistema de combustible	MPFI Secuencial
Distribución	DOHC VVTI
Válvulas por cilindro	4

Como se muestra en la figura 1, para el desarrollo del experimento se hizo uso del banco dinamométrico MAHA LPS 3000 que consta de un freno dinamométrico de corrientes parásitas que permite generar carga a más de medir la fuerza tractora y la potencia simultáneamente, la potencia se determina según (ISO, 2010).

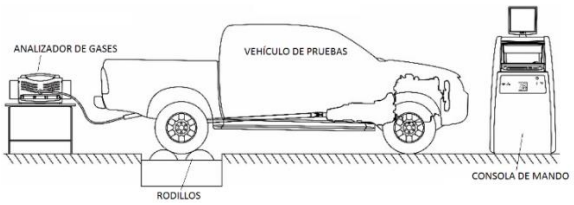


Figura 1. Vehículo en el banco dinamométrico.

Para el análisis de la concentración de emisiones contaminantes en los gases de escape y el consumo de combustible se usa el analizador de gases MGT 5 y el contador AIC fuel respectivamente, cuya incertidumbre de medición es del 0.6% según datos del fabricante. Las características se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Características del banco dinamométrico

Característica	Rango	Sensibilidad	Unidad
Potencia	0 – 520	0.1	Kw
Fuerza Tractora	0 - 12000	1	N
Monóxido de Carbono	0 – 10	0.01	%
Dióxido de Carbono	0 – 16	0.1	%
Oxígeno	0 – 21	0.01	%
Hidrocarburos no combustionados	0 – 5000	1	Ppm
Óxidos Nitrosos	0 – 5000	1	Ppm
Lambda	0 -2	0.001	-
Consumo de combustible	0 – 120	0.01	l/h

3.2 *Diseño Experimental*

Se plantea un diseño experimental factorial de dos niveles con el objetivo de hallar la relación entre los factores de estudio y las variables de salida. Para la optimización se utiliza un diseño experimental de Superficie de respuesta Box Behnken cuyo objeto principal es encontrar un punto de operación del motor diferente del impuesto por el fabricante en el cual el comportamiento de una o más variables de respuesta sea mejor que el actual, dadas las condiciones especiales de la ciudad de Cuenca. De acuerdo a (Abu-Nada, Al-Hinti, Akash, & Al-Sarkhi, 2007) las variables más significativas dentro del funcionamiento del motor ciclo Otto son las que se describen a continuación.

3.2.1 *Variables de respuesta*

Las variables de respuesta son salidas del sistema cuyo valor se desea mejorar, fueron escogidas acorde a investigaciones sobre el tema y normativa local como se ve en (Kyriakides, Dimas, Lymperopoulou, Karonis, & Lois, 2013), (INEN, Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores.

Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape en Condiciones de Marcha Mínima o Ralentí Prueba Estática, 2000), (INEN, Revisión Técnica Vehicular. Procedimientos, 2003), (Corporación para el mejoramiento del aire de Cuenca, 2006) y se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Variables de respuesta

Variable de respuesta	Símbolo	Unidad
Potencia	P	[kW]
Fuerza tractora	F	[N]
Monóxido de carbono	CO	[%]
Hidrocarburos no combustionados	HC	[ppm]
Óxidos nitrosos	NOx	[ppm]
Consumo específico combustible	C_{esp}	[g/kWh]

3.2.2 *Factores de Inferencia*

Los factores de inferencia son aquellos que producen cambios en las variables de salida, pueden ser controlados, de ruido o de estudio. Los factores controlables se pueden fijar en un punto o en un nivel de operación, su influencia en las variables de salida no se desea evaluar. Los factores de ruido son difíciles de controlar, pueden modificar el comportamiento de las variables de respuesta y su influencia se busca eliminar. Los factores de estudio son aquellos de los cuales se busca medir su influencia en las variables de respuesta del motor, los factores de inferencia se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Factores de inferencia

	Factores	Símbolo	Unidad
Controlables	Temperatura del refrigerante	T ref	[° C]
	Temperatura de la rodadura	T rod	[° C]
	Temperatura del lubricante	T lub	[° C]
	Apertura EGR	EGR	%
	Accionamiento VVTi	VVTi	%
Ruido	Temperatura del Aire	T aire	[° C]
	Temperatura del combustible	T comb	[° C]
	Presión Atmosférica	P atm	[Pa]
	Humedad relativa del aire	H rel	[%]
Estudio	Régimen de giro	η	[rpm]
	Carga	C^{c}	[%]
	Lambda	Λ	-
	Adelanto al encendido	A	[°]
	Octanaje del combustible	R	[RON]

3.3 Corridas Preliminares

Para poder determinar el efecto de cada factor sobre las salidas del sistema son necesarios dos niveles, el objeto de incluir un nivel intermedio es para determinar si el comportamiento de la salida dentro del dominio de análisis es lineal o presenta curvatura. Para determinar los niveles de los factores se recurre a corridas preliminares en las que se varía un solo factor a la vez con el fin de establecer el rango de operación de cada factor.

3.3.1 *Régimen de Giro*

La velocidad de giro del motor es un factor importante tanto para las prestaciones como las emisiones contaminantes. Los niveles de este factor se basan en (INEN, Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape en Condiciones de Marcha Mínima o Ralentí Prueba Estática, 2000), (INEN, Revisión Técnica Vehicular. Procedimientos, 2003) y (Corporación para el mejoramiento del aire de Cuenca, 2006), en las que el régimen de giro de ralentí se establece como el regulado por el motor con un límite máximo de 1100 rpm; para el caso de nuestra unidad experimental este régimen de giro a temperatura normal de funcionamiento se establece en 700 rpm. El segundo régimen de giro está normado en 2500 rpm, por lo que el nivel medio es 1600 rpm.

3.3.2 *Carga*

Los niveles de carga externa del motor se basan en el principio de funcionamiento del mismo y en la normativa ya citada. El nivel mínimo corresponde a la ausencia de carga externa es decir 0%, el nivel máximo corresponde al 100% de carga externa que es el máximo torque opositor que el motor puede soportar sin disminuir su velocidad de giro con el acelerador accionado totalmente y el nivel intermedio que corresponde al 50% de carga externa es el máximo torque opositor que el motor puede generar sin disminuir su velocidad de giro con el acelerador accionado en diferentes posiciones hasta conseguir que la presión en el colector de admisión sea la media entre la mínima (345 mBar) y máxima carga (735 mBar) es decir 540 mBar.

3.3.3 *Lambda*

Si bien se puede incrementar las prestaciones del motor a través de la modificación de la relación aire combustible no se debe descuidar el incremento que esto ocasiona en las emisiones contaminantes. Los valores de emisión de monóxido de carbono y de hidrocarburos no combustionados están limitados por (INEN, Gestión Ambiental Aire Vehículos automotores límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina, 2002). Para la corrida preliminar se sustituye el sensor de oxígeno del vehículo por un sensor de banda ancha y mediante un lazo de control se altera la relación aire combustible con el fin de obtener los valores de las emisiones en ralentí que se muestran en la figura 2.

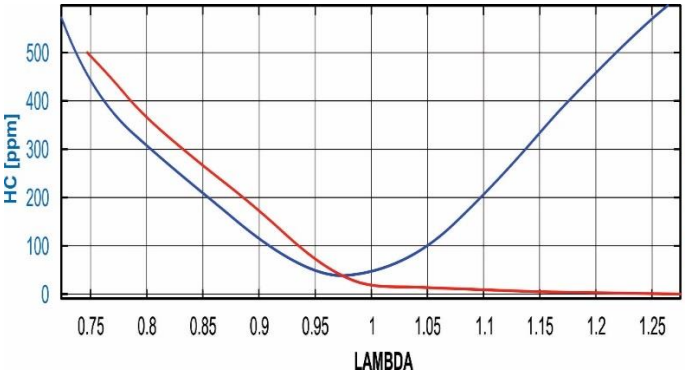


Figura 2. CO y HC vs. λ.

Los valores de λ mostrados en la tabla 5 son limitados por el 60% de lo que se señala en (INEN, Gestión Ambiental Aire Vehículos automotores límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina, 2002), con el fin de evitar que por efecto de otros factores se superen dichos límites.

Tabla 5: Valores límites de emisión

Variable	Límite Normado	Límite Admisible	Intervalo
CO	1%	0.6 %	$0.975 < \lambda$
HC	200 ppm	120 ppm	$0.926 < \lambda < 1.05$

El límite superior de λ es 1.05, el valor original al que funciona el motor es 1, por lo que por simetría el nivel inferior se establece en 0.95.

3.3.4 *Adelanto al Encendido*

La variación del adelanto al encendido puede incrementar o disminuir las prestaciones del motor al igual que las emisiones contaminantes. Los valores de adelanto para los niveles de carga y régimen de giro se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Valores de adelanto al encendido

Régimen [rpm]	Carga [%]	Adelanto [°]
700	0	10
2500	0	32
700	100	9
2500	100	24

El excesivo adelanto puede generar autoencendido y desembocar en el incremento de emisión de óxidos nitrosos, en cambio un punto de encendido retrasado genera pérdida de potencia y excesivo consumo de combustible. La detonación producida a causa de la modificación del adelanto al encendido se cuantifica basada en (Patente nº US8639432 B2, 2014), para lo cual es necesario extraer características de las señales de vibración adquiridas en las mismas condiciones de funcionamiento con 6 diferentes adelantos al encendido que parten desde el punto determinado por fabricante con incrementos de 2.5° hasta 12.5°. Para tal efecto se dispone de un acelerómetro que se ubica según (Rivera & Chica, 2015) que aplica a motores reciprocantes con potencias superiores a 100Kw. De las señales de aceleración adquiridas [m/s2] se extraen características estadísticas temporales como la energía (E), potencia (P), RMS, factor de cresta (FC) y curtosis (C). Con el fin de evaluar el efecto de la detonación en un solo factor, se ha generado el índice normalizado IN que se forma de la media de los efectos individuales de cada factor respecto del valor del motor original. El índice normalizado se calcula con la ecuación (1) que se muestra a continuación:

$$I_N = \frac{\left|\frac{E}{E_0} - 1\right| + \left|\frac{C}{C_0} - 1\right| + \left|\frac{RMS}{RMS_0} - 1\right| + \left|\frac{FC}{FC_0} - 1\right| + \left|\frac{P}{P_0} - 1\right|}{5}$$

El valor de IN para el motor original es 0 y mientras menor sea la detonación el valor del índice se mantendrá bajo como se señala en la tabla 7.

Tabla 7: Índice Normalizado

η [rpm]	c* [%]	Incremento [°]	α [°]	I_N
2500	100	0	24	0
2500	100	2.5	26.5	0,52
2500	100	5	29	0,57
2500	100	7.5	31.5	0,66
2500	100	10	34	0,88
2500	100	12.5	36.5	1,89

En la figura 3. Se puede observar que acorde al incremento al adelanto al encendido el valor del índice se incrementa abruptamente a partir del valor de 7.5°, por lo cual adelantos generaran una fuerte detonación.

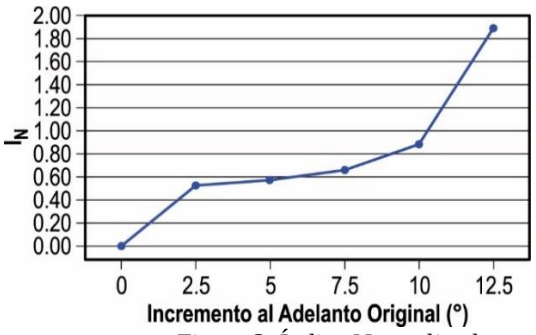


Figura 3. Índice Normalizado

El valor límite de incremento al adelanto al encendido es 7.5°, sin embargo a lo largo de la experimentación se llevan a cabo tratamientos con mezclas pobres y ricas que incrementan la posibilidad de generar detonación, por lo que se establece el nivel de incremento al adelanto al encendido en 5°, a partir de ello el valor del nivel medio es 0°, es decir el valor original del motor y por simetría el nivel mínimo es -5°. Para muestra de lo establecido se dispone de un sensor de presión en la bujía del cilindro número 1 para adquirir el comportamiento de la presión al interior del cilindro. La figura 4 y la tabla 8 describen que para los niveles de adelanto de 19° y 24° no se generan oscilaciones en el interior del cilindro que si se producen para el adelanto de 29°, el incremento de la amplitud de estas oscilaciones se ve reflejado en el valor del índice normalizado.

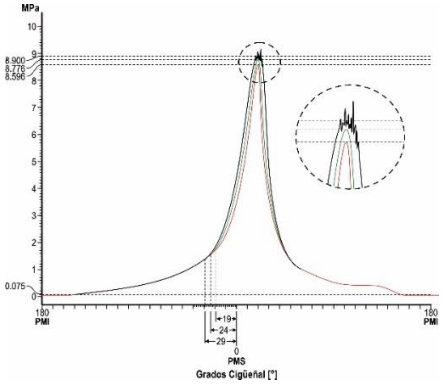


Figura 4. Presión en el cilindro 1

Tabla 8: Niveles de adelanto al encendido

RÉGIMEN	CARGA	NIVEL MÍNIMO	NIVEL CENTRAL	NIVEL MÁXIMO
[RPM]	[%]	(-5)	0	(+5)
700	0	5°	10°	15°
2500	0	27°	32°	37°
700	100	4°	9°	14°
2500	100	19°	24°	29°

3.3.5 Combustible

En la ciudad de Cuenca se dispone de las gasolinas extra y súper. Los niveles del factor combustible se determinan experimentalmente a través del número de octanos de investigación RON, para lo cual se miden mezclas de concentraciones de gasolina súper en extra. La gasolina extra tiene un RON medio de 81.9 la súper de 91.3, el punto medio de octanaje de 86.6 se consigue con una concentración de 23% de gasolina súper y 77% gasolina extra.

3.4 Tratamientos

Una vez seleccionados los niveles de cada uno de los factores que se muestran en la tabla 9 se procede a determinar los tratamientos de la corrida experimental.

Tabla 9: Niveles factoriales

FACTOR	MÍNIMO (-)	CENTRAL 0	MÁXIMO (+)
η [rpm]	700	1600	2500
c [%]	0	50	100
λ	0.95	1	1.05
α [°]	-5	0	5
R [RON]	81.9	86.6	91.3

Para el diseño experimental factorial de cinco factores y dos niveles tenemos 32 tratamientos en una repetición; cada tratamiento es una combinación única de los 5 factores en total se realizaron tres repeticiones lo que genera 96 tratamientos que incluyendo los 45 tratamientos con puntos centrales de la superficie de respuesta generan un total de 141 corridas experimentales.

3.4.1 Aleatorización de las pruebas

La aleatorización de las pruebas se aplica como herramienta para eliminar efectos indeseables provocados por los factores ambientales que son de difícil control. El principio de aleatorización hace que el posible efecto de los factores de ruido se reparta "equitativamente" en todos los tratamientos, incrementa la posibilidad de que los errores de muestreo sean independientes lo cual es requisito para la validez de las pruebas estadísticas, también es una técnica para asegurar que los pequeños errores provocados debido a los equipos, factores ambientales y humanos se repartan de manera homogénea a lo largo de todos los tratamientos.

3.4.2 Protocolo de medición

Para garantizar la reproducibilidad y repetibilidad del experimento se tomaron las muestras con el algoritmo que se describe en la figura 5. Este algoritmo fue desarrollado con el objetivo de disminuir los efectos no deseados en la adquisición de datos basados en (Rivera & Chica, 2015).

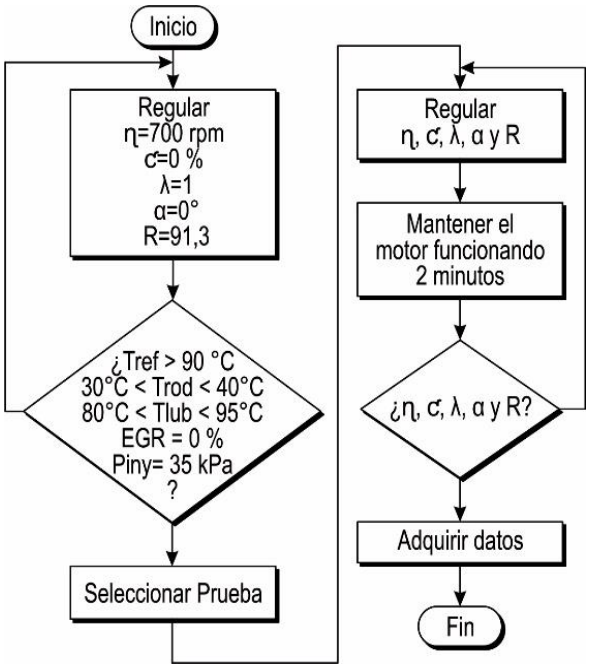


Figura 5. Protocolo de medición

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se utiliza el software de cálculo estadístico Minitab 17 ®.

4.1 Efectos principales y cruzados

Mediante el análisis de los diagramas de Pareto se obtiene la ponderación de los factores en las variables de respuesta del experimento. En la tabla 10 se muestran los factores e

interacciones que superan e nivel de significancia, ordenados desde el más influyente.

Tabla 10: Efectos principales y cruzados

Variables de Respuesta	Factores e interacciones de mayor inferencia							
	1	2	3	4	5	6	7	8
CO	λ	c	λ c					
HC	αR	λR	λ c	λcηR	λα	cηR	λαcη	ηR
CO_2	λ	λc	c					
O_2	λ	λc						
NOx	λ	c	η	λη	λc	ηc	ληc	α
F	c	ηc	η	Λ	ληc	αη	Ac	λη
P	η	c	ηc	ληc	λ	λη	Λc	αc
C esp	η	ηc	c	λ	ληc	λη	Λc	αηc

Las concentraciones de CO, HC y NOx en los gases de escape son sensibles a los factores e interacciones del experimento, su comportamiento se muestra en el diagrama de efectos principales mostrado en la figura 6.

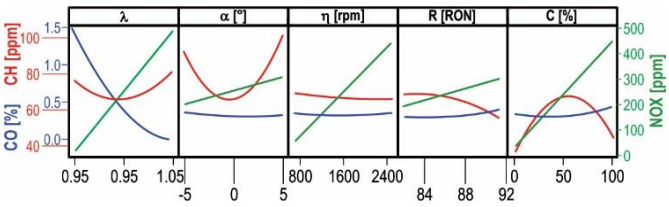


Figura 6. Efectos principales para la emisión de CO, HC y NOx.

4.2 Monóxido de Carbono

La emisión de CO depende principalmente del factor lambda, mientras más rica es la mezcla más alta es la emisión de CO, contrario a lo que ocurre cuando la mezcla es pobre. La mayor interacción es la producida por los factores lambda y carga. La condición crítica para el incremento la tasa de emisión de monóxido de carbono se da a 2500rpm, 100% de carga y utilizando gasolina súper, esta condición se representa en la superficie que se detalla en la figura 7.

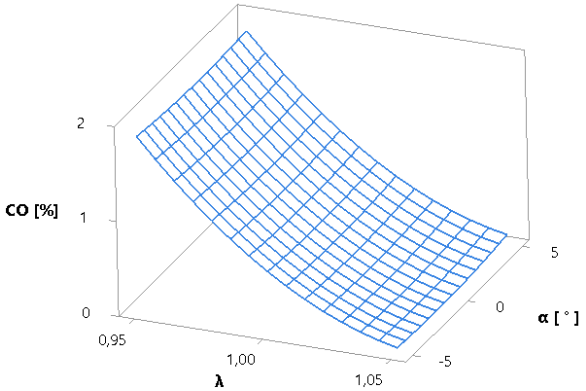


Figura 7. Emisión de CO en condición crítica

3.5 Hidrocarburos no combustionados

Los valores mínimos de emisión de HC no se consiguen en el punto original de funcionamiento del motor respecto del factor lambda y del adelanto al encendido, a más que disminuye considerablemente al aumentar el régimen de giro del motor y el octanaje del combustible. Los factores lambda y adelanto al encendido son los que más promueven las interacciones con otros factores en especial con el combustible. En la figura 8 se muestra la condición de mayor emisión de HC. Los valores de emisión de HC se incrementan ya sea para mezclas extremadamente ricas o pobres, igual que para elevados valores de adelanto al encendido. Para condiciones de funcionamiento con mezcla rica y estequiométrica la emisión de HC disminuye considerablemente utilizando gasolina de mayor octanaje, caso contrario de lo que ocurre con la aplicación de mezclas pobres, donde la emisión disminuye con el uso de combustible de bajo octanaje.

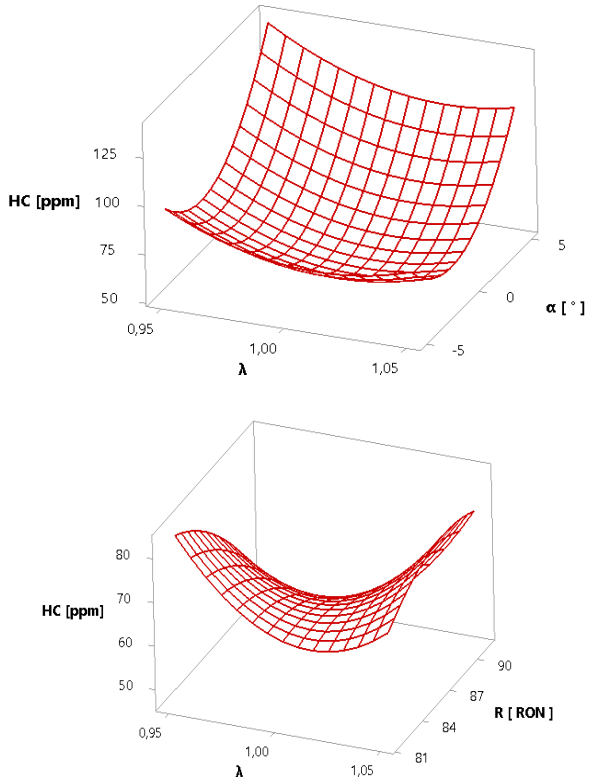


Figura 8. Emisión de HC en condición crítica

Para el caso del adelanto al encendido los valores de menor emisión de HC se consiguen en cualquier condición con valores de ligero retraso al encendido respecto del punto original de funcionamiento. En la figura 9 se puede apreciar que existe una condición de emisión mínima de HC que depende del combustible utilizado.

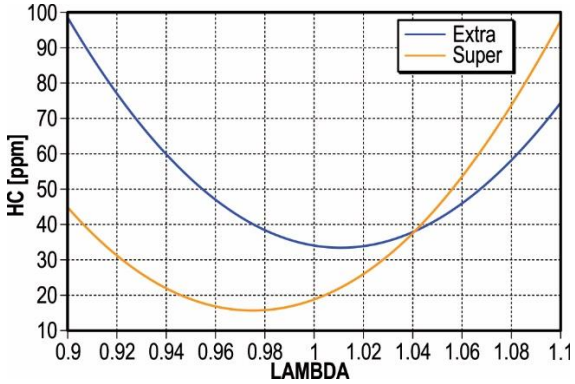


Figura 9. Mínima emisión de HC

Considerando los efectos principales e interacción de los factores se obtuvieron los valores mínimos de emisión de HC que se detallan en la tabla 11.

Tabla 11: Valores mínimos de emisión de HC

COMBUSTIBLE	λ	α [°]	HC [ppm]
EXTRA	1.012	-1.38	33
SUPER	0,975	-0.91	16

3.6 Óxidos Nitrosos

La emisión de NOx es muy sensible a todos los factores y se incrementa bajo condiciones de mezclas pobres, adelantos pronunciados al encendido, altos regímenes de giro, a más del alto octanaje del combustible y la elevada carga externa del motor. Los NOx incrementan su concentración en los gases de escape en condiciones que generen elevadas presiones y temperaturas en la cámara de combustión, como las detalladas en las figura 10.

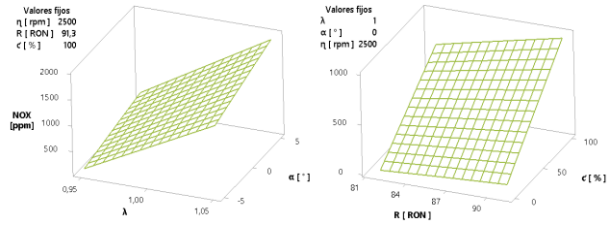


Figura 10. Emisión de NOx

3.7 Prestaciones del motor

Según lo expuesto en la tabla 10 la potencia y el torque son directamente proporcionales a η y c. Otros factores influyen de menor manera sobre estas prestaciones como se muestra en la figura 11.

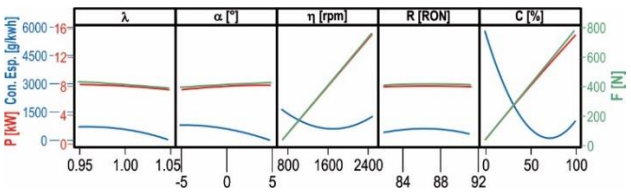


Figura 11. Efectos principales para P, F y Cesp.

Los valores máximos de F y P se mostrados en la tabla 12 se consiguen a 2500 rpm, 100 % de carga y distan de ser los que menores niveles de emisiones contaminantes generan.

Tabla 12: Valores máximos de F y P

COMBUSTIBLE	λ	α [°]	F [N]	P [kW]
EXTRA	0.95	5	1585	31,69
SUPER	0.95	5	1596	31,99

En la figura 12 se muestra que la fuerza tractora y la potencia incrementan su valor mientras mayor es el adelanto al encendido si se utiliza combustible de alto octanaje.

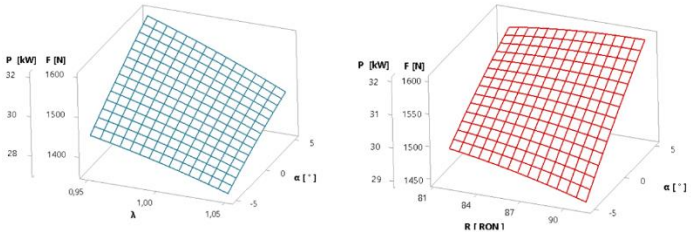


Figura 12. Fuerza tractora y Potencia en la rueda

3.8 Optimización de respuesta

Cada una de las variables de respuesta tiene su propia meta, cuyo objetivo es aumentar las prestaciones y disminuir la concentración de contaminantes en los gases de escape. Los valores objetivos de optimización se muestran en la tabla 13. Para la optimización se utiliza el método de la máxima pendiente.

Tabla 13: Optimización de respuesta

Respuesta	Meta	Objetivo	Unidad
P	Maximizar	31.9	[kW]
F	Maximizar	1596	[N]
CO	Minimizar	0	[%]
HC	Minimizar	16	[ppm]
NOx	Minimizar	0	[ppm]
C_{esp}	Minimizar	312.72	[g/kWh]

Como se ha dicho anteriormente las emisiones de CO y HC están restringidas por (INEN, Gestión Ambiental Aire Vehículos automotores límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina, 2002), pero el resto de prestaciones no tienen punto de referencia, es por ello que se generan funciones de NOx, F, P y C normalizadas respecto del estado de funcionamiento normal del motor es decir λ= 1, α = 5 y R=91.3. En la figura 13 se muestra los contornos generados por estas funciones en 2500 rpm y 100% de carga para a) gasolina súper y b) gasolina extra. Los límites establecidos corresponden a zonas en las que las que F y P se incrementan y Cesp junto a NOx disminuyen respecto del estado normal del motor. En la figura 13 se puede observar de blanco las zonas de funcionamiento en las que se

incrementan las prestaciones del motor sin que la emisión de CO y HC superen los límites normados y la emisión de NOx sea igual o inferior al motor original. La principal restricción que presenta el uso de gasolina súper al incremento de P y F es la emisión de CO, HC y NOx. El uso de gasolina extra conlleva la necesidad de trabajar con mezclas más ricas que las necesarias con súper para incrementar las prestaciones de igual forma limitadas por la emisión CO, HC y NOx.

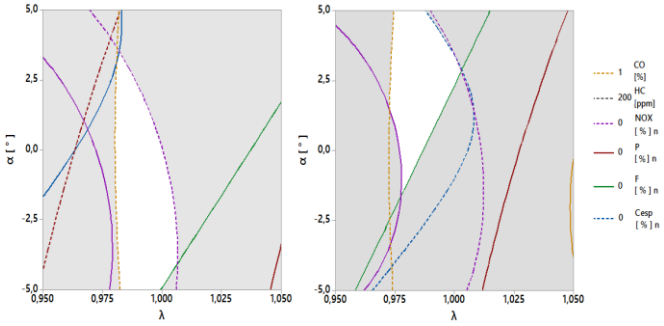


Figura 13. Zona de optimización para combustibles a) Súper b) Extra

Mediante el método de máxima pendiente se optimizó el proceso para obtener los resultados mostrados en la tabla 14.

Tabla 14: Resultados de la Optimización

Factor	Unidad	Condición normal	Óptimo súper	Óptimo extra
η	Rpm	2500	2500	2500
C̊	%	100	100	100
Λ	-	1	0,992	0,997
A	°	0	1,16	-0,26
R	RON	91,3	91,3	81,9
P	kW	29,51	29,98	29,47
F	N	1477	1500	1474
CO	%	0,6	0,74	0,51
HC	ppm	25	23	44
NOx	ppm	971	914	661
O_2	%	0,56	0,65	0,59
CO_2	%	15,01	14,98	14,95
C_{esp}	g/kWh	342,27	338,68	356,4

Las mejores prestaciones y disminución de contaminantes no se pueden conseguir con λ y α fijos, es por ello que se aplica los resultados de la optimización a diferentes condiciones de funcionamiento y combustibles. En la figura 14 se muestran las mejores configuraciones de funcionamiento del motor para gasolina súper y extra en función del régimen de giro, la carga del motor y la interacción de estos dos factores.

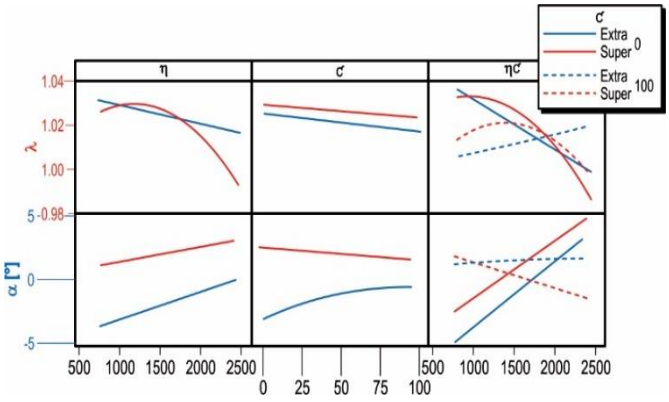


Figura 14. Optimización de λ y α en función de η y C̊

Los dos combustibles pueden trabajar con mezclas ligeramente pobres a bajas velocidades con niveles de carga externa baja; la mezcla debe enriquecerse acorde el motor se acelera y la carga aumenta. La gasolina súper puede trabajar en altas condiciones de carga y régimen de giro con mezcla ligeramente rica y un adelanto al encendido superior al prestablecido por el fabricante, contrario a lo que ocurre con la gasolina extra que no puede trabajar con adelantos superiores a los ya establecidos, debido a la pérdida de potencia e incremento del consumo de combustible y HC.

5. CONCLUSIONES

Las variables de respuesta del motor dependen directamente del combustible utilizado.

Optimizando el valor de λ y α para el uso de gasolina súper se consiguió incrementar la potencia del motor hasta un 1,59 % disminuyendo las emisiones de HC en 8%, NOx en 5.87% y el consumo específico en un 1.05%, con un incremento de 23.33% de CO que dista del límite impuesto por la normativa local.

En el caso de la gasolina extra los resultados muestran que se puede aproximar mucho el funcionamiento del motor al producido con gasolina súper en condiciones normales de operación. De la optimización de λ y α se obtuvo una disminución de tan solo el 0.14% de potencia, frente a una reducción del 15% de CO, 31.93% de NOx y un incremento del 76% de HC que no sobrepasa el límite establecido en (Corporación para el mejoramiento del aire de Cuenca, 2006).

Los resultados de la optimización arrojan que no se pueden mejorar las prestaciones del motor sin alterar las emisiones contaminantes y viceversa.

6. REFERENCIAS

Abu-Nada, E., Al-Hinti, I., Akash, B., & Al-Sarkhi, A. (2007). Thermodynamic analysis of spark-ignition engine using a gas mixture model for the working fluid. International Journal of Energy Research, 1031-1046.

Calza, P., & Ángel, P. (2011). Determinación de la Influencia de la Altura en Emisiones Contaminantes de un Vehículo con Motor de Ciclo Otto, de Inyección Electrónica de Gasolina. Quito: EPN.

Castaño, D., & Patiño, G. (2003). Estudio de los factores que inciden en el desempeño de motores de encendido provocado (MEP) convertidos a gas natural. Medellín: Universidad de Antioquia.

Corporación para el mejoramiento del aire de Cuenca, E. (2006). Codificación a la ordenanza que norma el establecimiento del sistema de revisión técnica vehicular de cuenca y la delegación de competencias a Cuencaire. Cuenca, Ecuador.

INEN. (2000). Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape en Condiciones de Marcha Mínima o Ralentí Prueba Estática. INEN 2 203:2000. Quito, Ecuador.

INEN. (2002). Gestión Ambiental Aire Vehículos automotores límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina. INEN 2 204:2002. Quito, Ecuador.

INEN. (2003). Revisión Técnica Vehicular. Procedimientos. INEN 2 349:2003. Quito, Ecuador.

ISO. (2010). Road vehicules, Engine test code net power. ISO Standard 1585:1992.

Kyriakides, A., Dimas, V., Lymperopoulou, E., Karonis, D., & Lois, E. (2013). Evaluation of gasolina etanol water ternary mixtures used as fuel for an Otto engine. Fuel.

Matsuo, N., Shishime, K., HAYAKAWA, M., Morimoto, H., & Ohashi, M. (2014). Patente nº US8639432 B2.

Montgomery, D. (2012). Design and Analysis of Experiments. Arizona: John Wileys & Sons.

Pulkrabek, W. (2004). Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Rivera, N., & Chica, F. (2015). Estudio del comportamiento de un motorciclo Otto de inyección electrónica respecto de la estequiometría de la mezcla y del adelanto al encendido para la ciudad de Cuenca. Quito: EPN.

Néstor Diego Rivera Campoverde. Magíster en Sistemas Automotrices por la Escuela Politécnica Nacional, Ingeniero Mecánico Automotriz, actualmente es Profesor de la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Miembro del Grupo de Investigación de Ingeniería del Transporte GIIT en la Línea de Investigación de Ingeniería del Mantenimiento Automotriz y Eficiencia Energética, Coordinador del Proyecto Cuyero en el que ha desarrollado trabajos enfocados a la detección y diagnóstico de fallos en motores de combustión interna mediante Inteligencia Artificial. Ha participado como ponente y revisor en varios Congresos Nacionales e Internacionales. Autor para correspondencia nrivera@ups.edu.ec.

Juan Fernando Chica Segovia. Nacido el 15 de abril de 1965 en Cuenca-Ecuador, toda su vida profesional se ha dedicado al mantenimiento y estudio de los vehículos motorizados; en el año 2012 se graduó de Ingeniero Mecánico Automotriz en la UPS y en el año 2016 obtuvo el título de Master en Sistemas Automotrices en la Escuela Politécnica Nacional; desde el año 2003 trabaja en la Universidad Politécnica Salesiana, como docente investigador, ha sido director del Proyecto "El biodiesel como alternativa para reducir las emisiones contaminantes en la ciudad de Cuenca"; actualmente es Jefe de Área profesional de la carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz.

Oscar Iván Zambrano Orejuela. Nació en Quito, en 1955. Simultáneamente, obtuvo los títulos de Bachiller en Ciencias de la Educación y Bachiller en Humanidades Modernas. Ingeniero Mecánico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), donde ingresó como docente en 1982, posteriormente, en 1995 obtuvo el título de Magister en Sistemas Informáticos y en 2006 se graduó de Master en Diseño para Ingeniería en la Universidad Politécnica de Catalunya. En el año 2005, la EPN le otorgó el título de "Profesor". Actualmente, es profesor principal titular y Subdecano de la Facultad de Ingeniería Mecánica, además, es director de varios proyectos de investigación.

Cristian Leonardo García García. Ingeniero Mecánico Automotriz por la Universidad Politécnica Salesiana 2007, Máster Universitario en Ingeniería del Mantenimiento por la Universidad Politécnica de Valencia 2012, actualmente estudiante de Doctorado por la Universidad de Mérida Venezuela. Director de Carrera de Ingeniería Automotriz de la UPS-sede Cuenca. Docente Titular-Auxiliar de la UPS. Docente Maestría Sistemas Automotrices Universidad Politécnica Nacional, 2013-2015. Docente Maestría en Gestión del Mantenimiento, Universidad del Azuay, 2015. Responsable de proyectos de investigación en el área de mantenimiento predictivo para el diagnóstico de motores de combustión. Participación en Congresos nacionales e internacionales.

Preparación de Artículos para la Revista Politécnica Utilizar Mayúsculas en cada Palabra en el Caso del Título

Apellido, Nombre[1]; Apellido, Nombre[2]; Apellido, Nombre[3]

[1]*Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecatrónica, Quito, Ecuador*
[2]*Escuela Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Industrial, Guayaquil, Ecuador*
[3]*Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Exactas, Cuenca, Ecuador*

Resumen: Las siguientes instrucciones establecen las pautas para la preparación de artículos para la Revista Politécnica. Los artículos pueden ser escritos en español o en inglés, pero tendrán un resumen de máximo 250 palabras en los dos idiomas. Los autores pueden hacer uso de este documento como una plantilla para componer su artículo si están utilizando Microsoft Word 2013 o superior. Caso contrario, este documento puede ser utilizado como una guía de instrucciones. El número mínimo de páginas será 6 y el máximo 15, Para el envío de los artículos, los autores deben seguir las instrucciones colocadas en el sistema de recepción de artículos del sitio web de la Revista Politécnica (www.revistapolitecnica.epn.edu.ec). En caso de que su artículo sea en inglés colocar el título y el resumen en los dos idiomas.

Palabras clave: Incluir una lista de 3 a 6 palabras.

Title of Manuscript

Abstract: These instructions give you guidelines for preparing papers for EPN Journal. Papers can be written in Spanish or English; however, an abstract of maximum 250 words and written in both languages is required. Use this document as a template to compose your paper if you are using Microsoft Word2013 or later. Otherwise, use this document as an instruction set. The minimum number of pages will be 6 and the maximum will be 15. For submission guidelines, follow instructions on paper submission system from the EPN Journal website(www.revistapolitecnica.epn.edu.ec).

Keywords:Include a list of 3 to 6 words.

1. SECCIÓN I

Este documento es una plantilla para versiones Microsoft Word 2013 o posteriores. Si está leyendo una versión impresa de este documento, por favor descargue el archivo electrónico, **revistapolitécnicaformato2016.docx**. En caso de que el autor desee enviar el artículo en formato LaTex por favor comunicarse con la coordinación de edición (epnjournal@epn.edu.ec). *Por favor, no coloque numeración ni pie de página en el documento presentado.*

No cambie los tamaños de fuente o espaciado de renglones para ajustar el texto a un número limitado de páginas. Utilice cursiva o negrita para dar énfasis a un texto, no subrayado.

2. SECCIÓN II

Para las pautas de presentación, siga las instrucciones emitidas por el sistema del sitio web de la revista de la EPN.

La presentación inicial debe tomar en cuenta todas las indicaciones que se presentan en la plantilla, para de esta manera tener una buena estimación de la longitud del artículo a publicarse. Además, de esta manera el esfuerzo necesario para la presentación final del manuscrito será mínimo.

Como sugerencia, es importante tomar en cuenta que, el primer autor es el investigador que hizo la mayor parte del trabajo, mientras que el último autor suele ser el profesor quien es el líder intelectual y, a menudo edita y presenta el borrador final del documento.

La Revista Politécnica pondrá en marcha un sistema de transferencia electrónica de derechos de autor en su momento. Por favor, "no" enviar formularios de derecho de autor por correo o fax. A continuación se detallan las consideraciones que se deben tener en cuenta para la presentación final del artículo.

3. SECCIÓN III

Colocar el correo electrónico del autor de correspondencia.

3.1 Figuras, tablas y márgenes

Todas las figuras deben ser incorporadas en el documento. Al incluir la imagen, asegúrese de insertar la actual en lugar de un enlace a su equipo local. Los archivos de: figuras, dibujos, fotografías, etc., deberán enviarse en formato bmp o jpg, con al menos 1200 puntos (resolución) en uno de sus ejes, con leyendas legibles y de tamaño adecuado. El artículo debe contener entre tablas y figuras un máximo de 10.

Las etiquetas de los ejes de las figuras son a menudo una fuente de confusión. Utilice las palabras en lugar de símbolos. Por ejemplo, escriba la cantidad "Magnetización," o "Magnetización M" no sólo "M".

Las figuras y tablas deben estar en la parte superior e inferior de las columnas. Evite colocarlas en medio de ellas. Las figuras y tablas grandes pueden extenderse a lo largo de ambas columnas. Las leyendas de las figuras deben estar centradas debajo de las figuras, los títulos de las tablas deben estar centrados sobre ellas. Evite colocar figuras y tablas antes de su primera mención en el texto. Para la mención de figuras, tablas o ecuaciones utilice las palabras completas con la primera letra en mayúscula, por ejemplo "Figura 1".

Coloque las unidades entre paréntesis. No etiquete los ejes sólo con unidades. Por ejemplo, escriba "Magnetización (A/m)" o "Magnetización (Am^{-1})", no sólo "Magnetización A/m." No etiquete los ejes con una relación de cantidades y unidades. Por ejemplo, escriba "Temperatura (K)", no "Temperatura K".

Los multiplicadores pueden ser especialmente confusos. Escriba "Magnetización (kA/m)" o "Magnetización (103A/m)". No escriba "Magnetización (A/m) x 1000" porque el lector no sabrá si la etiqueta del eje de arriba significa 16000 A/m o 0,016 A/m. Las etiquetas de las figuras deben ser legibles, con un valor de 8 y sin espacio de separación con la figura.

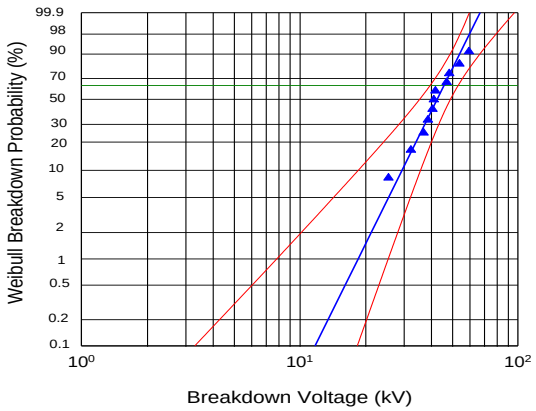


Figura 1. *Distribución* Weibull de 60 Hz voltajes de ruptura11 cables α = 45,9 kV picoβ = 5,08.Intervalo de Confidencia 95%

Los autores deben trabajar activamente con los márgenes solicitados. Los documentos de la revista serán marcados con los datos del registro de la revista y paginados para su inclusión en la edición final. Si la sangría de los márgenes en su manuscrito no es correcta, se le pedirá que lo vuelva a presentar y esto, podría retrasar la preparación final durante el proceso de edición.

Por favor, no modificar los márgenes de esta plantilla. Si está creando un documento por su cuenta, considere los márgenes que se enumeran en la Tabla 1. Todas las medidas están en **centímetros**.

Tabla 1.Márgenes de página

Página	Superior	Inferior	Izquierda/ Derecha
Primera	2,0	2,5	1,5
Resto	2,0	2,5	1,5

3.2 Ecuaciones

Si está usando MSWord, sugerimos utilizar el *Editor de ecuaciones de Microsoft* o el *MathType*add-on para las ecuaciones en su documento (*Insertar/Objeto/Crear Nuevo/Microsoft Ecuación o Ecuación MathType*). La opción "flotar sobre el texto" no se debe elegir.'

Enumere las ecuaciones consecutivamente con los números de la ecuación en paréntesis contra el margen derecho, como en (1). Utilice el editor de ecuaciones para crear la ecuación y esta debe estar localizada en el margen derecho, como se muestra en el ejemplo siguiente:

$$\int_0^{r_2} F(r,\varphi)\, dr\, d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \qquad (1)$$

Asegúrese de que los símbolos en su ecuación han sido definidos antes de que aparezcan en la ecuación o inmediatamente después. Ponga en cursiva los símbolos (T podría referirse a la temperatura, pero T es la unidad tesla). Para referirse a la ecuación se escribe por ejemplo "Ecuación (1) "

3.3 Unidades

Utilice el SI como unidades primarias. Otras unidades pueden ser utilizadas como unidades secundarias (en paréntesis). Por ejemplo, escriba "15 Gb/cm^2 (100 Gb/in^2)". Evite combinar las unidades del SI y CGS, como la corriente en amperios y el campo magnético en oerstedios. Esto a menudo lleva a confusión porque las ecuaciones no cuadran dimensionalmente. Si tiene que usar unidades mixtas, aclare las unidades para cada cantidad en una ecuación.

Por ejemplo, en el SI la unidad de fuerza de campo magnético Hes A/m. Sin embargo, si desea utilizar unidades de T, o bien se refiere a la densidad de flujo magnético B o la fuerza del campo magnético simbolizadas como μ_0H. Use un punto en el centro para separar las unidades compuestas, por ejemplo, "$A \cdot m^2$."

3.4 Abreviaturas y Siglas

Defina las abreviaciones y acrónimos la primera vez que se utilizan en el texto, incluso después de que ya han sido

definidos en el resumen. No utilice abreviaturas en el título a menos que sea inevitable.

3.5 Otras recomendaciones

- Para expresar valores decimales se usarán comas, por ejemplo 3,45. Use un cero antes del decimal.
- Se incluirá un espacio entre números para indicar los valores de miles, por ejemplo 463 690.
- Utilice notación científica para expresar números con más de 3 cifras hacia la derecha o izquierda, es decir, mayores a 2,50E+05 o menores a 4,8E-03.
- Finalmente, de ser necesario y de manera opcional, se pueden incluir conclusiones, recomendaciones y agradecimiento.

REFERENCIAS

La lista de **referencias debe estar en Formato APA ordenada alfabéticamente** de acuerdo con el apellido del primer autor del artículo. El agregado et al no debe ir en cursiva. Por favor nótese que todas las referencias listadas aquí deben estar directamente citadas en el cuerpo del texto usando (Apellido, año). Las notas al pie deben evitarse en la medida de lo posible.
El artículo debe contener un mínimo de 6 referencias.

Seguir el formato indicado a continuación de acuerdo al tipo de referencia a:

Formato básico para referenciar libros:

Apellido, Inicial Nombre. (Año). *Título del libro.* Ciudad, País: Editorial.

- **Libros con un autor:**

En las referencias:
King, M. (2000). *Wrestling with the angel: A life of Janet Frame.* Auckland, New Zealand: Viking.

Cita en el texto:
(King, 2000) o King (2000) argumenta que ...

- **Libros con dos autores:**

En las referencias:
Treviño, L. K., y Nelson, K. A. (2007). *Managing business ethics: Straight talk about how to do it right*. Hoboken, NJ: Wiley

Cita en el texto:
(Treviño y Nelson, 2007) oTreviño y Nelson (2007) ilustran…

- **Libros con dos o más autores:**

En las referencias:
Krause, K.-L., Bochner, S., y Duchesne, S. (2006). *Educational psychology for learning and teaching* (2nd ed.). South Melbourne, VIC., Australia: Thomson.

Cita en el texto:
De acuerdo con Mezey et al. (2002) o ... (Mezey et al., 2002).

Formato básico para referenciar artículos científicos

Apellido, Inicial Nombre. (Año). Título del Artículo. *Título/Iniciales de la Revista*. Número de Volumen (Tomo), páginas

- **Artículos en revistas:**

En las referencias:
Sainaghi, R. (2008). Strategic position and performance of winter destinations. *TourismReview*, *63*(4), 40-57.

Cita en el texto:
(Sainaghi, 2008) oSainaghi (2008) sugiere ...

- **Artículos con DOI**

En lasreferencias:
Shepherd, R., Barnett, J., Cooper, H., Coyle, A., Moran-Ellis, J., Senior, V., & Walton, C. (2007). Towards an understanding of British public attitudes concerning human cloning. *Social Science& Medicine*, *65*(2), 377-392. http://dx.doi.org/10.1016/j.socscimed.2007.03.018

Cita en el texto:
Shepherd et al. (2007) o Shepherd et al. (2007) resaltan la...

- **Artículos sin DOI**

En las referencias
Harrison, B., & Papa, R. (2005). The development of an indigenous knowledge program in a New Zealand Maori-language immersion school. *Anthropology and EducationQuarterly*, *36*(1), 57-72. Obtenido de la base de datos AcademicResearch Library

Cita en el texto:
(Harrison y Papa, 2005) o En su investigación, Harrison y Papa (2005) establecieron...

- **Artículos en línea**

En lasreferencias:
Snell, D., & Hodgetts, D. (n.d.). The psychology of heavy metal communities and white supremacy. *Te KuraKeteAronui*, *1*. Obtenido de: http://www.waikato.ac.nz/wfass/tkka. (Mayo, 2015).

Cita en el texto:
(Snell y Hodgetts, n.d.) oSnell y Hodgetts (n.d.) identificaron "..."

INFORMACIÓN ADICIONAL

Sistema de Arbitraje:

Todos los artículos cumplen con una revisión por pares, la cual consiste en:

- Selección de dos o tres árbitros, actualmente la Revista Politécnica cuenta con revisores internos, externos e internacionales, quienes envían al editor su evaluación del artículo y sus sugerencias acerca de cómo mejorarlo.
- El editor reúne los comentarios y los envía al autor
- Con base en los comentarios de los árbitros, el editor decide si se publica el *manuscrito*.
- Cuando un artículo recibe al mismo tiempo evaluaciones tanto muy positivas como muy negativas, para romper un empate, el editor puede solicitar evaluaciones adicionales, obviamente a otros árbitros.
- Toda la evaluación se realiza en un proceso doble ciego, es decir los autores no conocen quienes son sus revisores, ni los revisores conocen los autores del artículo.

Instructivo para publicar un Artículo

1. Crear un usuario y contraseña para acceder al portal web de la Revista Politécnica, para mayor información está el correo epnjournal@epn.edu.ec
2. Ingresar al portal web e iniciar el proceso de envío
3. Comenzar el envío
4. Colocar requisitos de envío

- Lista de comprobación de preparación de envíos

  Como parte del proceso de envío, se les requiere a los autores que indiquen que su envío cumpla con todos los siguientes elementos, y que acepten que envíos que no cumplan con estas indicaciones pueden ser devueltos al autor.

  - La petición no ha sido publicada previamente, ni se ha presentado a otra revista (o se ha proporcionado una explicación en Comentarios al Editor).
  - El fichero enviado está en formato OpenOffice, Microsoft Word, RTF, o WordPerfect.
  - Se han añadido direcciones web para las referencias donde ha sido posible.
  - El texto tiene interlineado simple; el tamaño de fuente es 10 puntos; se usa cursiva en vez de subrayado (exceptuando las direcciones URL); y todas las ilustraciones, figuras y tablas están dentro del texto en el sitio que les corresponde y no al final del todo.
  - El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas para autoras/es, que se pueden encontrar en "Acerca de la Revista".

- Nota de copyright

  Los autores que publican en esta revista están de acuerdo con los siguientes términos:

  - Los autores conservan los derechos de autor y garantizan a la revista el derecho de ser la primera publicación del trabajo al igual que licenciado bajo una Creative Commons Attribution License que permite a otros compartir el trabajo con un reconocimiento de la autoría del trabajo y la publicación inicial en esta revista.

  - Los autores pueden establecer por separado acuerdos adicionales para la distribución no exclusiva de la versión de la obra publicada en la revista (por ejemplo, situarlo en un repositorio institucional o publicarlo en un libro), con un reconocimiento de su publicación inicial en esta revista.

  - Se permite y se anima a los autores a difundir sus trabajos electrónicamente (por ejemplo, en repositorios institucionales o en su propio sitio web) antes y durante el proceso de envío, ya que puede dar lugar a intercambios productivos, así como a una citación más temprana y mayor de los trabajos publicados (Véase The Effect of Open Access) (en inglés).

- Declaración de privacidad

  - Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

5. Subir el envío
6. Introducir metadatos
7. Subir ficheros adicionales
8. Confirmar el envío

EPN editorial

www.revistapolitecnica.epn.edu.ec
www.epn.edu.ec

EPN
editorial

www.revistapolitecnica.epn.edu.ec
www.epn.edu.ec