

- **Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, México.**

Área: Biología y Química

- **Sistema de gestión de procesos de negocio para ingreso y control de vehículos.**

Área: Ciencias de la Ingeniería

- **Análisis de la adherencia superficial en un camino minero.**

Área: Ciencias de la Ingeniería



INDICE

Artículos

- 1. Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, México.**

Área: Biología y Química

- 2. Sistema de gestión de procesos de negocio para ingreso y control de vehículos.**

Área: Ciencias de la Ingeniería

- 3. Análisis de la adherencia superficial en un camino minero.**

Área: Ciencias de la Ingeniería



COMITE EDITORIAL

Liliana González Arredondo

Directora editorial

Laura Margarita Aguilar Cervantes

Corrección Editorial

Daniel Israel Rodríguez Gante

Diseño de imagen e integración web

Arturo Alejandro Arroyo Benavides

Revisión Editorial

Ma. Angelina Rangel Cervantes

Corrección Editorial en Lengua Extranjera

J. Guadalupe Santos Gómez

Representante de Área Ingenierías

Adriana López Barberena

Ma. Guadalupe Serrano Torres

Representante de Área Económico Administrativo

Brett González Cárdenas

Representante de Área Sustentabilidad para el Desarrollo

Ricardo Miguel Sánchez Durán

Representante de Área Tecnologías de la Información y Comunicación



EDITORIAL

La revista Reacción agradece el trabajo realizado en autoría, arbitraje, así como al Consejo y Comité Editorial su amable apoyo para la realización exitosa de este proyecto, que está presentando el primer número del quinto año de vida y que con sus aportaciones espera seguir abonado al ámbito académico.

En esta décima tercera edición se presentan reflexiones sobre temas de interés e impacto nacional e internacional con artículos muy interesantes que refieren diferentes disciplinas; por ejemplo, en el área de las ciencias exactas: biología y química, está el artículo “Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, México”, que ofrece una perspectiva de las formas del crecimiento urbano y la emisión de contaminantes. Plantea cómo se han afectado a los mantos acuíferos subterráneos a través de pozos, que son uno de los principales suministros de agua para las regiones rurales y urbanas. El artículo resalta la necesidad de realizar un diagnóstico de la calidad del agua en siete pozos subterráneos del municipio de Apan, Hidalgo, con la finalidad de determinar su potencial para el consumo humano.

En las áreas de Ingenierías, el artículo “Análisis de la adherencia superficial en un camino minero” ofrece una investigación acerca de los valores del coeficiente de adherencia en las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de los caminos mineros (temporales y permanentes) explotados en la empresa cubana *Comandante Ernesto Che Guevara* (ECECG). Es relevante porque determina de manera experimental un parámetro para conocer los valores de fuerza de tracción desarrollada por estos vehículos y genera conocimiento nuevo en esta área de la ingeniería.

Otro artículo de ingeniería es: “Sistema de gestión de procesos de negocio para ingreso y control de vehículos”, que destaca la importancia de los procesos empresariales a través de la construcción de un sistema de información BPM en la web, para la gestión de vehículos en la empresa pública ecuatoriana MAGAP, con su sede en la provincia del Cañar. El instrumento permite resolver un problema de administración controlando, monitoreando y gestionando los procesos de negocios.

Agradecemos a los y las participantes el publicar con nosotros, apreciamos el esfuerzo y trabajo experto en su área. Es un privilegio ver sus trabajos y reconocer el esfuerzo reflejado en sus artículos e investigaciones.

Atentamente

Comité Editorial Revista Reacción



DETERMINACIÓN DE HIERRO Y MANGANESO EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DEL MUNICIPIO DE APAN, HIDALGO, MÉXICO.

Por: Sonia Hernández González, Aurea Gómez Vega, Pablo Juárez Yáñez, Galdy Hernández Zárate.

RESUMEN

El crecimiento urbano en los últimos cincuenta años ha incrementado la emisión de contaminantes, afectando a los acuíferos subterráneos a través de pozos, los cuales son uno de los principales suministros de agua para las regiones rurales y urbanas. El objetivo de este trabajo fue realizar un diagnóstico de la calidad del agua (iones Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^{+} y la concentración de hierro y manganeso) en siete pozos subterráneos del municipio de Apan, Hidalgo, con la finalidad de determinar su potencial para el consumo humano. Los iones se analizaron por espectroscopía de plasma de acoplamiento inductivo; y el hierro y manganeso por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados indican una baja lixiviación de los iones Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^{+} , sugiriendo que son aguas subterráneas de baja mineralización. No se encontró una correlación entre Fe y Mn; sin embargo, las concentraciones de estos metales fueron mayores a los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-127-SSA1-1994.

Palabras clave: Agua subterránea, Apan, Hidalgo, manganeso, hierro.

ABSTRACT

Urban growth over the last fifty years have led to large increases in emission of pollutants in the underground aquifers across wells, being these one of the most important supplies as much in rural as in urban regions. The aim of this work was to carry out an assessment of water quality (ions Ca^{+2} , Mg^{+2} and Na^{+} and the concentration of iron and manganese) in seven groundwater wells of the municipality of Apan,

Hidalgo, in order to determine its potential for the human consumption. Ions were analyzed by inductively coupled plasma spectroscopy; and the Fe and Mg by atomic absorption spectroscopy. The results indicate a low leaching the ions Ca^{+2} , Mg^{+2} and Na^{+} , suggesting that groundwater are of low mineralization. No correlation was found between Fe and Mn, nevertheless, the concentrations of these metals were bigger than the maximum permissible limit established by the NOM-127SSA1-1994.

Keywords: Underground water, Apan, Hidalgo, manganese, iron.

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas inciden en la contaminación de los acuíferos; sin embargo, el transporte de contaminantes desde la superficie hasta los mantos acuíferos es un proceso lento, por lo que el impacto de un episodio de contaminación puede tardar en manifestar su efecto en el pozo de agua¹. Cabe resaltar que la sobreexplotación de un pozo de agua puede también ocasionar problemas de contaminación debido a la concentración natural de arsénico y flúor, así como la infiltración de aguas residuales².

En el estado de Hidalgo, las aguas superficiales están representadas por los ríos Tempoal, Metztitlán, Hondo, Actopan, Tula y Avenidas, siendo los dos últimos los más contaminados. La materia orgánica, bacterias, metales, fenoles disueltos, grasas y aceites son los principales contaminantes que afectan la calidad del agua de estos ríos, y hoy en día no es adecuada para el consumo humano, sin un tratamiento previo³.



En la actualidad, la zona de Apan desarrolla una actividad agrícola tradicional con áreas de riego, así como áreas de servicios públicos, cuya agua residual se vierte sin un tratamiento previo en los arroyos. Por las características geológicas de la región, la mayor parte de esta agua se infiltra al subsuelo⁴, por lo que Apan, es un municipio vulnerable a la contaminación de sus mantos acuíferos^{5,6}.

Debido a que existe un riesgo asociado a la salud humana y el ambiente en este municipio, por la presencia de microorganismos patógenos y otros elementos tales como nitratos y metales pesados, los cuales no se eliminan de los cuerpos de agua por procesos naturales (no son biodegradables), sino que por el contrario son bioacumulables^{7,8}, es importante conocer la calidad del agua subterránea en el municipio de Apan, Hidalgo, donde los niveles de contaminación han aumentado exponencialmente en las últimas décadas, y se requiere asociarlos a riesgos potenciales que incidan sobre la salud humana.

OBJETIVO

El objetivo de esta investigación fue el determinar la concentración de iones calcio, magnesio, sodio, hierro y manganeso de siete pozos de agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, con la finalidad de caracterizarla y determinar su potencial para consumo humano.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El abastecimiento público de agua con altas concentraciones de Fe y Mn es una problemática presente en diversas localidades del país. Un ejemplo, son los municipios de Azcapotzalco, Agrícola Oriental, Sierra de Santa Catarina, Iztapalapa, Milpa Alta, Tlahuac y Xochimilco, en la Ciudad de México, donde se han detectado altas concentraciones de manganeso y particularmente de hierro (del orden de 1 a 5 mg/L). En el estado de Hidalgo, estudios realizados en los municipios de Molango y Zimapán, han mostrado que los acuíferos se encuentran contaminados con Mn, Zn,

Al, Ba y Fe; sin embargo, únicamente las concentraciones de Mn exceden los límites establecidos por la normatividad mexicana para agua de consumo humano (NOM-127-SSA1-1994)⁹.

Este estudio fue realizado en el municipio de Apan, Hidalgo, debido a que el agua subterránea representa la principal fuente de abastecimiento para actividades agrícolas tradicionales y de riego, así como para la creciente demanda de agua de uso doméstico (agua potable). Estudios en la región, reconocen que las principales fuentes de contaminación del agua subterránea son debidas a las características geológicas del subsuelo (rocas volcánicas ricas en elementos como el Fe y Mn) y por contaminación derivada de actividades antropogénicas (descarga de aguas residuales sin previo tratamiento que son permeadas al subsuelo)^{9, 10, 11}

Con base a lo anterior, se hace necesario un análisis más detallado de la composición química y toxicidad de esta región con la finalidad de determinar la calidad del agua subterránea del municipio, específicamente de la presencia de metales pesados que pudieran causar problemas a la salud.

MÉTODO DE TRABAJO

ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio se realizó durante los meses de enero a marzo de 2016, en el municipio de Apan, estado de Hidalgo, ubicado a 64 kilómetros de la ciudad de Pachuca, con coordenadas geográficas de 19° 42' latitud norte y 98° 27' latitud oeste. El municipio cuenta con una superficie de 346.9 km² y una población de 40,000 habitantes¹². Se localiza en el eje Neovolcánico, formado principalmente por llanuras, presentando un clima subhúmedo con lluvias en verano. Su hidrografía dado que se encuentra en la región del Pánuco, la cuenca es considerada una de las más importantes de México¹³ tiene dos subcuencas: la del Río Tezontepec, y las Lagunas Tochac y Tecocomulco. Por lo tanto, cuenta el municipio de Apan, con catorce pozos de abastecimiento de agua potable, con una profundidad promedio de 250 m.

Para este estudio se seleccionaron siete pozos representativos del agua potable subterránea (previos al proceso de cloración) de la región de Apan, Hidalgo (Fig. 1).



Figura 1. Ubicación de los siete pozos seleccionados en el municipio de Apan, Hidalgo¹⁴.

METODOLOGÍA

De los pozos seleccionados, se determinaron *in situ* los parámetros fisicoquímicos de pH, Conductividad Eléctrica (CE), Potencial de Óxido Reducción (POR), Sólidos Disueltos Totales (SDT) y Oxígeno Disuelto (OD), utilizando una sonda multiparamétrica (*Hanna Instruments*). Para la determinación de iones y metales pesados, se recolectaron de cada pozo 2 L de agua en botellas de polietileno y se transportaron al laboratorio. Los iones de calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y sodio (Na^{+}) fueron determinados utilizando espectroscopia de plasma de acoplamiento inductivo (ICP, por sus siglas en inglés). El hierro (Fe) y manganeso (Mn) fueron analizados por espectrofotometría de absorción atómica, de acuerdo a métodos estandarizados (NMX-AA-051-SCFI-2001¹⁵). Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

RESULTADOS

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos obtenidos de los siete pozos muestreados se observan en el cuadro 1. El pH se encontró entre 6.52-7.53, el cual es un intervalo normal para aguas subterráneas. Los valores de CE fluctuaron entre 316-420 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El

POR fue un parámetro que mostró valores entre -2.1 a -5.7 mV. Por su parte, las concentraciones de SDT mostraron poca variación entre los diferentes pozos (158 a 210 mg/L). Los valores de OD fueron siempre inferiores a 5.5 mg/L. Siendo las localidades de Acopinalco y Santa Cruz, las que mostraron los valores más bajos (1.27 y 1.52 mg/L, respectivamente).

Pozo	Localidad	Profundidad (m)	pH	CE (mS/cm)	POR (mV)	SDT (mg/L)	OD (mg/L)
1	Apan	120	7.25	347	-4.2	173	3.98
2	Acopinalco	67	7.06	389	-3.1	194	1.27
3	Chimalpa	100	7.43	319	-3.4	159	5.52
4	Cruz Roja	130	7.21	404	-5.7	202	4.59
5	Loma Bonita	100	7.11	316	-4.2	158	3.61
6	San Miguel	80	7.53	420	-3.0	210	4.47
7	Santa Cruz	200	6.52	420	-2.1	210	1.52

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos del agua subterránea de siete pozos del municipio de Apan, Hidalgo.

Hidro químicamente, las aguas subterráneas del municipio de Apan son cálcicas y presentan concentraciones medias de iones Mg^{+2} y Na^{+} , como se muestra en el cuadro 2. Las concentraciones de hierro fueron muy similares en todos los pozos evaluados (1.45 a 1.6 mg/L), a excepción del pozo de Chimalpa que presentó un menor contenido de hierro (0.75 mg/L). En todos los casos, los valores de Fe superan los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-127-SAA1-1994¹⁶ y la Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos¹⁷ (0.30 mg/L).

Pozo	Localidad	Ca+2 (mg/L)	Mg+2	Na+	Fe	Mn
1	Apan	23.2	12.1	33.7	1.45	0.043
2	Acopinalco	27.6	14.6	36.1	1.50	0.043
3	Chimalpa	22.3	11.4	31.3	0.75	3.718
4	Cruz Roja	21.8	13.6	44.4	1.55	-0.013
5	Loma Bonita	22.3	12.9	14.6	1.55	0.019
6	San Miguel	25.7	13.7	37.8	1.60	-0.034
7	Santa Cruz	24.9	18.3	36.2	1.60	4.050

Insertar Cuadro 2. Concentración de cationes, hierro y manganeso en el agua subterránea de siete pozos del municipio de Apan, Hidalgo.

La presencia de manganeso fue detectada en cinco de los siete pozos analizados en el municipio de Apan. Sin embargo, solo en los pozos de Santa Cruz (4.05 mg/L), y Chimalpa (3.718 mg/L), los niveles de manganeso sobrepasaron ampliamente el límite recomendado por la Norma Oficial Mexicana que es de 0.15 mg/L.



Para este estudio, no se encontró correlación entre las concentraciones de hierro y manganeso. De los sitios evaluados, el pozo de Santa Cruz fue el que presentó las concentraciones más altas para ambos metales. El resto de los parámetros complementarios estuvieron dentro del rango establecido por la norma.

DISCUSIÓN

Los iones disueltos en el agua subterránea pueden ser mayoritarios, minoritarios o traza; los iones de calcio, magnesio y sodio son considerados mayoritarios. La concentración de calcio y magnesio presente en el agua determina el grado de dureza, la cual es un factor importante en la determinación de la calidad del agua.

Las concentraciones encontradas de Calcio y Magnesio clasifican al agua de estos pozos como blanda ya que la suma de ambos es menor a 75 mg/L. Asimismo, en agua recién infiltrada la concentración de calcio es mayor que la concentración de magnesio y esta a su vez es mayor a la concentración de sodio.

Pero en agua subterránea que tiene ya un tiempo de residencia esta relación cambia quedando mayor la concentración de sodio que la de los otros dos iones, como es el caso de la mayoría de los pozos muestreados en este estudio (ver cuadro 2). La concentración de sodio es de importancia en aguas de riego ya que se ve afectada la permeabilidad del suelo y la infiltración; asimismo, el sodio suele ser tóxico para cierto tipo de cultivos^{18,19}.

La conductividad eléctrica en los siete pozos evaluados se encontró en un valor cercano a los 400 μ S/m, lo cual indica que son pozos con una baja concentración de sales y baja mineralización. Estos resultados coinciden con lo señalado previamente por Huízar-Álvarez *et al*⁴, quienes indican que en la región se da una baja lixiviación de los iones Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^{+} , y al igual que en este estudio, las concentraciones de SDT no llega a ser mayor a los 400 mg/L, lo que infiere que estas aguas subterráneas son de baja mineralización.

El manganeso estuvo presente en cerca del 70% de los pozos muestreados, con un valor promedio de 1.1205 mg/L. Si bien, la introducción del manganeso al ambiente está asociada principalmente a actividades antropogénicas relacionadas con la industria del hierro y el acero, en el municipio de Apan, las aguas subterráneas están impactadas por el aporte doméstico, y de actividades agrícolas y ganaderas, que generan grandes volúmenes de aguas residuales que se infiltran al subsuelo, representando una fuente potencial de este contaminante⁴. Asimismo, como se mencionó anteriormente, diversos metales, como el manganeso pueden llegar a las aguas subterráneas mediante la erosión y lixiviación de minerales y rocas que contienen manganeso en los acuíferos²⁰

Generalmente, el manganeso está presente junto con el hierro en los pozos de agua, dado que su química es similar, las fuentes industriales de manganeso son también fuentes de hierro²¹. Las aguas con mayor carga orgánica contienen mayor cantidad de hierro produciéndose asociaciones y complejos químicos. La fuente de contaminación por hierro en las aguas naturales puede ser por vertimientos industriales, sales solubles del suelo, así como por la corrosión de las tuberías de hierro. El hierro y el manganeso pueden encontrarse en el agua en tres posibles formas: disuelto, en partículas y coloidal. La prevalencia de una forma u otra dependerá del pH del agua, la temperatura y el potencial redox²².

A pesar de que son escasos los estudios relacionados con el riesgo asociado a la exposición de estos metales, a través del agua de consumo humano, se han encontrado evidencias de que el manganeso está relacionado con problemas neurológicos, cognitivos y de comportamiento en niños que han estado expuestos a manganeso; y que a elevadas concentraciones se relaciona con incrementos en los niveles de irritabilidad, agresiones, hiperactividad y comportamientos antisociales y efectos neuro conductuales, lo cual ha sido estudiado en niños de 6 a 13 años²³⁻²⁹. Asimismo, el acumulación de manganeso en el cerebro puede inducir una forma atípica de Parkinsonismo²⁴. Estudios realizados en la



población infantil de Molango, en el estado de Hidalgo, demostraron que la exposición al manganeso tiene impactos en el neurodesarrollo provocando una reducción en el coeficiente intelectual (IQ) en niños²⁵.

En este estudio, las altas concentraciones de hierro y manganeso, encontradas en los Pozos de Santa Cruz y de Chimalpa, sugieren un riesgo potencial para las comunidades de Apan que se abastecen de estos pozos. Por lo cual, se recomienda a las autoridades municipales, dar el tratamiento adecuado a estas aguas de pozo, para cumplir con los límites establecidos por la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994¹⁶, que son de 0.15 mg/L para el manganeso y de 0.30 mg/L para el hierro, en el agua potable.

CONCLUSIÓN

En este estudio se pudo encontrar que las concentraciones de metales, específicamente hierro y manganeso, en las aguas subterráneas de Apan en el estado de Hidalgo, pueden indicar un grado de contaminación en estos acuíferos.

Lo anterior implica evitar su consumo por parte de la comunidad, ya que los datos encontrados reflejan que los niveles en algunos de los pozos muestreados rebasan los límites máximos permisibles, especialmente de manganeso.

Consumir agua con elevado contenido de manganeso puede representar graves daños a la salud de la población, especialmente a la niñez. Por lo cual, se recomienda realizar un mayor muestreo de las aguas subterráneas del municipio y estudiar a la vez si existen asociaciones bacterianas que pudieran coadyuvar a la oxidación o degradación de estos metales.

REFERENCIAS

1. ECHEVERRI, Gloria Elena. Aspectos teóricos sobre el fenómeno de contaminación de aguas subterráneas. *Revista Universidad EAFIT* [en línea]. 2012, vol. 34, no 111, p. 61-75. [fecha de consulta: 5 de marzo 2017]. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1105>
2. JIMÉNEZ, Blanca, María Luisa Torregrosa y Armentia, Luis Aboites AGUILAR. (ed). *El Agua en México: cauces y encauces*. México: Academia Mexicana de Ciencias, 2010, 702 p. ISBN: 978-607-95166-1-1
3. ORTEGA-MARÍN, Blanca. Caracterización del recurso hídrico en el estado de Hidalgo. México: Colegio del Estado de Hidalgo, 2011, 11-30 p. *En Agua y Medio Ambiente* (Vol. I). ISBN: 978-607-401-413-3
4. HUÍZAR-ÁLVAREZ, Rafael; Mitre-Salazar, Luis; Méndez-garcía, Teodoro; Juárez, Faustino; Shimhada, Kumiko. Caracterización Hidrogeológica de la subcuenca de Tecocomulco. *En La laguna de Tecocomulco geo-ecología de un desastre*. México: Universidad nacional Autónoma de México, 2005, 89-108 p. ISBN 970-32-3238-8
5. PORTES-VARGAS, Leodan y Torres-Lima, Pablo. El recurso agua en el estado de Hidalgo. *En Agua y Medio Ambiente*. México: Colegio del Estado de Hidalgo, 2011, 31-58 p. (Vol. I). ISBN: 978-607-401-413-32011.
6. CRUZ, René Bernardo Elías Cabrera; Martínez, Alberto José Gordillo y BELTRÁN, Álvaro Cerón. Inventario de contaminación emitida a suelo, agua y aire en 14 municipios del estado de Hidalgo, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, [online]. 2003, vol. 19 (4): 171-181. [fecha de consulta; 10 de marzo de 2017] Disponible en: <http://132.248.8.213/rica/index.php/rica/article/view/23590/22253>
7. SARABIA, Irma Francisca Meléndez; Cisneros, Rodolfo Almazan; Aceves Del Alba, Jorge; Durán, Héctor Martín García y CASTRO, Javier Lagarrotia. Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, [online]. 2011, vol.27, n.2 [fecha de consulta 6 de marzo de 2017], pp.103-113. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200002&lng=es&nrm=iso . ISSN 0188-4999.
8. LÓPEZ-HERRERA, Maritza; Romero-Bautista, Leticia; Ayala-Sánchez Nahara; Soria- Mercado, Irma E y PORTILLO-LÓPEZ, Amelia. Problemática de contaminación en la zona agrícola de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Estudios en Biodiversidad, Volumen I*, editores Griselda Pulido-Flores, Scott Monks y Maritza López-Herrera (Lincoln, NE: Zea Books, 2015). [fecha de consulta 5 de marzo de 2017], pp.142-150. Disponible en: <http://digitalcommons.unl.edu/biodiversidad/12/>
9. PÉREZ-MORENO, Fidel, Prieto García, Francisco, Rojas Hernández, Alberto, Galán Vidal, Carlos A., Marmolejo Santillán, Yolanda, Romo Gómez Claudia, Castañeda Ovando, Araceli, Rodríguez Ávila, José Antonio y BARANDO ESTEBAN, Enrique. Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. *Hidrobiología* [en línea] 2003. Vol. 13, n. 2. [fecha de consulta 4 de mayo de 2017] pp. 95-102. ISSN. 0188-8897. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972003000200001&script=sci_arttext
10. CONAGUA. Estadísticas del agua en México, Edición 2011. [en línea]. [fecha e consulta: 07/05/2017]. México, D. F. Comisión Nacional del Agua, 2011. Disponible en Wordl Wide Web: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF>
11. HUÍZAR-ÁLVAREZ, Rafael; Méndez-García, Teodoro y MADRID Ríos, Rafael. Hidrogeoquímica del agua subterránea de la subcuenca de Apan-Tochac, Hidalgo, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, [online]. 1999, vol. 16, (1): 89-96. [fecha de consulta: 10 de marzo de 2017] Disponible: [http://rmcg.unam.mx/16-1/\(6\)Huizar.pdf](http://rmcg.unam.mx/16-1/(6)Huizar.pdf)
12. INEGI. *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia*. 2010. [en línea][fecha de consulta 25 de noviembre de 2016], Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv2010/Dafault.aspx>
13. Apan, A. D. (2016-2020). *Gobierno de Apan*. [fecha de consulta 6 de marzo de 2017], Atlas de Riesgo. [en línea] Disponible en:



- http://apan.hidalgo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=6
14. Google Earth. 2017 [programa de información geográfica]. Versión 7.18.3036. Disponible para descarga en el *World Wide Web*: <https://www.google.es/intl/es/earth/>.
 15. Diario Oficial de la Federación. NOM-051-SCFI-2001. Análisis de agua determinación de metales por absorción atómica de aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas-método de prueba. [online] 2001. Disponible en: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa051-01.pdf>
 16. Diario Oficial de la Federación. NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. [online] 1994. Disponible en: <http://www.agrolab.com.mx/sitev002/sitev001/assets/nom-127-ssa1-1994.pdf>
 17. SALVATO, Joseph A. Environmental Engineering and Sanitation. Maximum Contaminant Levels (MCLs) for Drinking Water. 2003. Tercera Edición. EPA National Primary Drinking Water Standards. Disponible en: www.epa.gov/safewater.
 18. JULIÁN-SOTO, F. La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domesticas sanitarias. *Revista Ingeniería e Investigación Tecnológica*. [en línea] 2010, Volumen XI no.2 p.167 – 177 ISSN 1405-7743 [fecha de consulta 9 de marzo 2017] Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v11n2/v11n2a4.pdf>
 19. GARCIMUÑO, Mayra; Díaz Pace, Diego. Determinación de sodio en agua mediante espectroscopia de plasmas producidos por láser. *Revista Ciencia Docencia y Tecnología* [en línea] 2013, Vol. XXIV, no. 47, p. 219-230 [fecha de consulta 9 de marzo 2017] Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14529884009>
 20. GUÉDRON, Stéphane; Duwig, Céline; Prado, Blanca Lucia; Point, David; Flores, Marizol Giovana y SIEBE, Christina. (Methyl)Mercury, Arsenic, and Lead Contamination of the World's Largest Wastewater Irrigation System: the Mezquital Valley (Hidalgo State—Mexico) [on line] 2014. *Water Air Soil Pollut.* Pp. 225:2045 DOI 10.1007/s11270-014-2045-32016
 21. CORILLOLLA, Lazo; RAQUEL, Liz. Remoción del manganeso para mejorar la calidad de las aguas de consumo humano en la Laguna Azulcocha. 2012. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. [online] [fecha de consulta 7 de marzo de 2017] Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1084>
 22. VALENCIA-ESPINOZA, Christian Eduardo. *Química del Hierro y manganeso en el agua, métodos de remoción*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Cuenca, Escuela de Ingeniería Civil, Cuenca. [online] 2011; 51 [fecha de consulta 3 de marzo de 2017] Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/754>
 23. HERRERA, Crispin, Portugal; Franco, Guadalupe., Barrientos, Humberto., y RODRÍGUEZ, Miguel, Rodríguez. La contaminación por manganeso en comunidades expuestas a fungicidas etilenbisditiocarbamatos en el Soconusco (Chiapas, México). [online] 2015. *Revista Higiene y Sanidad Ambiental*, Vol. 15(2): 1315-1318. [fecha de consulta 3 de marzo de 2017] Disponible en: [http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc559118a50ffbb_Hig.Sanid.Ambient.15.\(2\).1315-1318.\(2015\).pdf](http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc559118a50ffbb_Hig.Sanid.Ambient.15.(2).1315-1318.(2015).pdf)
 24. BOUCHARD, Maryse, Sauvé, Sébastien; Barbeau, Benoit; Legrand, Melissa; BRODEUR, Marie-Ève; et.al. Intellectual impairment in school-age children exposed to manganese from drinking water. [online] 2011. *Revista Environmental Health Perspectives*, Vol. 119 (1), 138 - 143. [fecha de consulta 5 de marzo de 2017] Disponible en: <http://search.proquest.com/openview/67e6973beb43227aca822520f6883222/1?pg-origsite=gscholar&cbl=48869>
 25. BURTON, Neal. C., y GUILARTE, Tomás. R. Manganese neurotoxicity: lessons learned from longitudinal studies in nonhuman primates. [online] 2009. *Revista Environmental Health Perspectives*, Vol.117 (3): 325 - 332. [fecha de consulta 5 de marzo de 2017] Disponible en: <http://search.proquest.com/openview/45ea604183c2de8b720abc8c60133f6/1?pg-origsite=gscholar&cbl=48869>
 26. MOSHFUQUR, Syed., Kippler, Maria., Tofail, Fahmida., Bölte, Sven., Derakhshani, Jena., y VAHTER, Marie. Manganese in drinking water and cognitive abilities and behavior at 10 years of age: a prospective cohort study. [online] 2016. *Revista Environmental Health Perspectives* [fecha de consulta 5 de marzo de 2017] Disponible en: https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/advpub/2016/7/EHP631_acc0.pdf
 27. KHAN, Khalid., Factor-Litvak, Pam., Wassman, Gail;, Liu, Xinhua; Ahmed, Ershad., Parvez, F; et.al. Manganese exposure from drinking water and children's classroom behavior in Bangladesh. [online] 2011. *Revista Environmental Health Perspectives*, 119 (10); 1501 - 1506. [fecha de consulta 7 de marzo de 2017] Disponible en <http://search.proquest.com/openview/df2aa9a2c01940242b252b9d99bee517/1?pg-origsite=gscholar&cbl=48869>
 28. GUILARTE, Tomas. Manganese and Parkinson's disease: a critical review and new findings. [online] 2011. *Ciência & Saúde Coletiva*, 16 (11): 4519 - 4566. [fecha de consulta 4 de marzo de 2017] Disponible en: http://www.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232011001200028&lng=en&nrm=iso ISSN 1678-4561. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232011001200028>.
 29. RIOJA-RODRÍGUEZ, Horacio., Solís-Vivanco, Rodolfo., Schilmann, Astrid., Montes, Sergio., Rodríguez, Sandra., Ríos, Camilo., et.al. Intellectual function in mexican children living in mining area environmentally exposed to manganese. *Revista Environmental Health Perspect* [online] 2010. 118 (10): 1465 - 1770. [fecha de consulta 3 de marzo de 2017] Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/e219/73a4b77db1183f0e91958b089807e7ad325c.pdf>
 30.
 - **Fecha de recepción:** 21/03/2016
 - **Fecha de aceptación:** 26/04/2017
 - **Fecha de publicación:** 29/09/2017
 - Año 5, Número 1. Septiembre - diciembre, 2017.
 - **Sonia Hernández González:** Maestra en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad del Centro Interdisciplinario de Investigaciones sobre Medio Ambiente y Desarrollo- IPN; Licenciada en Biología de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas- IPN. Profesora de tiempo completo en la Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji.
 - **Aurea Guadalupe Gómez Vega:** Maestra en Nanotecnología, CIMAV; Ingeniera en Alimentos de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Profesora de Tiempo Completo, Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji.
 - **Pablo Antonio Juárez Yáñez:** TSU en Química Ambiental, Universidad Tecnológica de Tula - Tepeji.
 - **Galdy Hernández Zárate:** Doctora en Ciencias con Orientación en Biotecnología. CICESE; Maestra en Ciencias con Orientación en Biotecnología. CICESE; Licenciada en Biología. Universidad Veracruzana. Trayectoria profesional; Universidad Tecnológica de Huejotzingo, Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla.



SISTEMA DE GESTIÓN DE PROCESOS DE NEGOCIO PARA INGRESO Y CONTROL DE VEHÍCULOS.

Por: Andrés Sebastián Quevedo Sacoto, Martín Zhindon, Paúl Chérrez, Víctor Fabian Duman Tenezaca.

RESUMEN

Las instituciones en general implementan sistemas de información que se encargan de recolectar datos sin poner atención a los procesos que intervienen en la lógica de su negocio. Para mostrar la importancia de los procesos empresariales, se construye un sistema de información BPM en la web, para la gestión de vehículos de la empresa pública ecuatoriana MAGAP con su sede en la provincia del Cañar. En este artículo se presenta una solución BPM libre y de código abierto, el cual sirve como instrumento para resolver un problema de gestión, controlando, monitoreando y gestionando los procesos de negocios.

Palabras Clave: Procesos, BPM, Web, Código Abierto.

ABSTRACT

Institutions generally implement information systems that are responsible for collecting data without paying attention to the processes involved in the logic of their business. To show the importance of business processes, a BPM information system is built on the web for the management of vehicles of the Ecuadorian public company MAGAP with its headquarters in the province of Cañar. This article presents a free and open source BPM solution, which serves as an instrument to solve a management problem, controlling, monitoring and managing the business processes.

Keywords: Processes, BPM, Web, Open Source.

INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador (MAGAP) para el desarrollo y cumplimiento de las actividades diarias requiere de la movilización de sus funcionarias/os mediante el uso

de vehículos. Estas actividades se desarrollan principalmente en el área rural, el automóvil es el vehículo principal para llevar sus servicios a las comunidades.

En este contexto, la gestión de los vehículos se realiza mediante el manejo de órdenes de combustible, órdenes de movilización y actas de entrega-recepción. El registro de estos procesos se lleva a cabo mediante el uso de plantillas y hojas de cálculo; la información registrada en estos formatos es enviada al Departamento de informática para obtener los siguientes reportes: recorrido total de los vehículos, consumo de combustible en galones, rendimiento total de kilómetros recorridos respecto a consumo de combustible en galones e informes de mantenimiento a las unidades.

Actualmente el desarrollo de estos procesos es deficiente porque en el Departamento de informática, la consolidación de la información de las fichas y hojas se realiza de forma manual. Además, no existe un control adecuado de los procesos realizados, y se necesita de un gran espacio físico para almacenar todas las fichas generadas.

El MAGAP dispone de un sistema de información con funciones limitadas que no comprende a estos requerimientos debido a que no es una herramienta adecuada para la gestión de procesos. Como alternativa para el manejo de procesos existen los denominados Gestores de Procesos de Negocios (BPM, por sus siglas en inglés), que han sido utilizados en otras áreas para mejorar los procesos, se detallan a continuación.

El Centro de investigación público brasileño implementó BPM¹ afrontó varios cambios en la etapa desarrollo. El autor de este documento siguió la aplicación de BPM, en el Centro de investigación durante 33 meses y puede determinar que dicho centro se encuentra en un nivel intermedio de implementación de BPM.

La División Política Electoral (Divipol) de Colombia², implementó BPM para transparentar y mejorar el proceso de producción de papeletas para las elecciones regionales y nacionales de Colombia. En anteriores elecciones, las agencias gubernamentales de Colombia y sus proveedores de producción no poseían suficiente transferencia en la propia producción y suministro de las papeletas. El objetivo fue eliminar los errores de computación, contabilidad e impresión; acelerar el tiempo de entrega; y reducir los costes de producción mediante un BPM, por lo que creó un proceso automatizado para cada lote de papeletas a medida que eran transportadas desde la planta hasta la cabina electoral.

La empresa de petróleos Schneider Electric³, optimizó su programa de servicios mediante el desarrollo de herramientas BPM para mejorar el desempeño de la compañía en dos áreas: la optimización de pozos y el mantenimiento de compresores. Actualmente, la organización tiene una plataforma flexible para rastrear y solucionar problemas en trabajos de servicio, garantizando que las reparaciones se registren, comuniquen y resuelvan correctamente.

Una vez que se ha evidenciado el mejoramiento de los procesos en otras áreas, este trabajo propone implementar una herramienta BPM para la gestión automatizada de los procesos en el manejo de los vehículos del MAGAP, para que esta tarea se realice de forma eficaz y eficiente.

Además se pretende que la implementación del BPM se pueda replicar en empresas públicas y privadas, ya que a diferencia de los sistemas de información tradicionales basados en la gestión de datos, dichos sistemas se especializan en la gestión de procesos de negocio que permiten a las organizaciones: modelar, desarrollar y gestionar procesos de negocio complejos que incluyen la gestión de su organización^{4,5}.

MATERIALES Y MÉTODOS

La implementación del BPM para la gestión de vehículos del MAGAP, se realiza de acuerdo al estándar (BPMN 2.0)⁶, para lo cual se llevaron a cabo las siguientes actividades: (1) se realiza un levantamiento los detalles de las actividades que se

llevan a cabo en cada uno de los procesos, mediante el planteamiento de escenarios; (2) se crearon los modelos correspondientes a cada proceso; (3) se determinó la herramienta a utilizar y su arquitectura y (4) se implementaron cada uno de los procesos utilizando la herramienta seleccionada.

A continuación, se describe un escenario común para la generación de una orden de combustible y posterior utilización de un vehículo: un conductor recibe una orden de trabajo para transportar abono orgánico a una comunidad rural para lo cual se le asigna un vehículo, si este carece de combustible, el conductor tiene que generar una orden de combustible dirigida al director financiero de la institución y esperar la resolución de aprobación. En caso de ser aprobada, el conductor tiene que realizar una orden de movilización en la que explica las razones de uso del vehículo y debe esperar la orden de aprobación del director administrativo. Una vez que la orden de movilización ha sido aprobada, el conductor realiza la entrega del abono a la comunidad para luego regresar a la institución donde tendrá que realizar un acta de entrega-recepción del vehículo y esperar la aprobación del director administrativo. Esta actividad se lleva a cabo para cada uno de los procesos.

Una vez identificados los procesos se realiza un modelo para proceder a determinar la arquitectura que permita implementar los procesos para la gestión de los vehículos. En la Figura 1 se muestran los tres componentes que conforman la arquitectura del sistema y que se detallan a continuación.

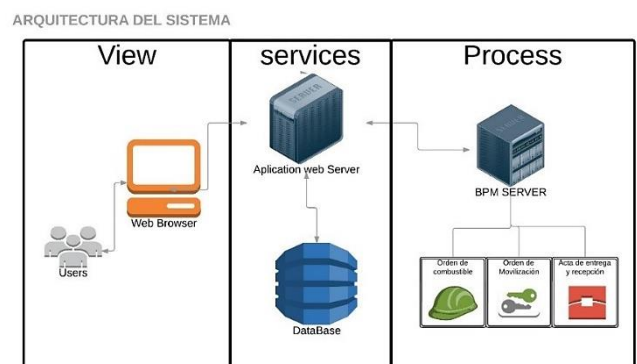


Figura 1. Arquitectura del sistema. Fuente: Sebastián Quevedo y col. 2016.



PROCESOS

En esta sección de la arquitectura, se modela y crea la lógica de los procesos institucionales de orden de combustible, orden de movilización y actas de entrega-recepción de vehículos. Estos procesos se modelan con la notación BPMN 2.0 y se implementan con el software BPM Bonitasoft (<http://www.bonitasoft.com>). Esta herramienta permite modelar y automatizar los procesos de negocios.

PROCESO DE ORDEN DE COMBUSTIBLE

La Figura 2 muestra el diagrama de procesos de la solicitud de orden de combustible. El proceso inicia con un actor que solicita combustible, posteriormente, otro actor valida el formulario. En caso de aprobación de la orden, de forma automática se envía un reporte al solicitante para su impresión, caso contrario se le envía una notificación de petición negada concluyendo el proceso.

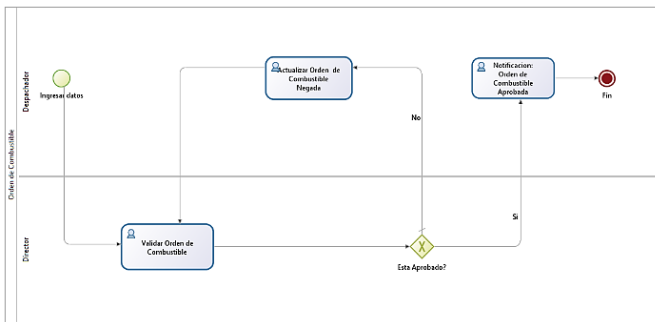


Figura 2. Diagrama de procesos orden combustible. Fuente: Sebastián Quevedo y col. 2016.

PROCESO DE ORDEN DE MOVILIZACIÓN

El diagrama de procesos de orden de movilización se presenta en la Figura 3: el proceso inicia con un actor que solicita movilizarse y otro, valida el formulario. En caso de aprobar la orden, de forma automática se envía un reporte al solicitante para su impresión, caso contrario se le envía una notificación de petición negada y concluye el proceso.

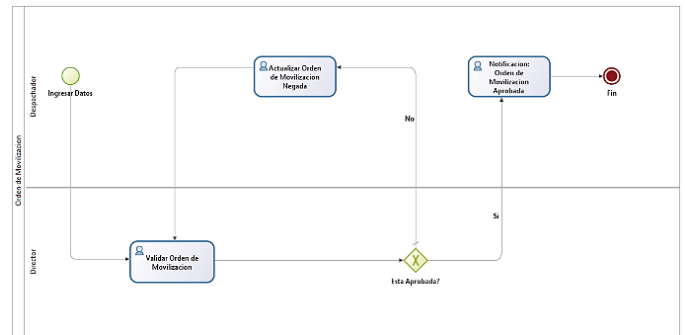


Figura 3. Diagrama de procesos orden de movilización. Fuente: Sebastián Quevedo y col. 2016.

PROCESO DE ACTA DE ENTREGA Y RECEPCIÓN

En la Figura 4, se muestra el diagrama de procesos de la solicitud de orden de movilización. El proceso inicia con un conductor que solicita movilizarse y un director valida el formulario. En caso de aprobar la orden, de forma automática se envía un reporte a despachador para su impresión, caso contrario se le envía una notificación de petición negada y concluye el proceso.

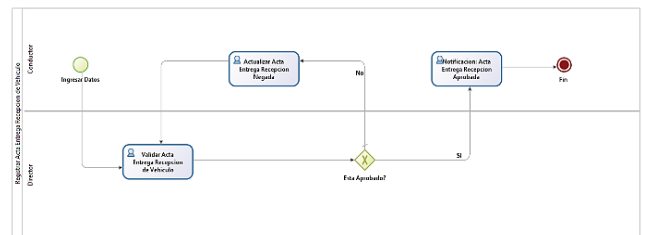


Figura 4. Diagrama de procesos orden de movilización. Fuente: Sebastián Quevedo y col. 2016.

SERVICIOS

En esta sección de la arquitectura se utiliza un servidor web construido sobre un servidor de aplicaciones ApacheTomcat, que se encarga de gestionar los requerimientos de los usuarios, y encaminarlos hacia la sección de los procesos; además gestiona el almacenamiento de información en la base de datos relacional MySQL. Dependiendo del servicio que se requiera, el servidor se encarga de conectar las necesidades del usuario con la lógica del negocio implementada en la capa de procesos, y siempre almacenando esta interacción con una base de datos relacional.

VISTA

La aplicación web ofrece modelos de visualización que permiten recoger información relevante de la lógica de los procesos, además de navegar, monitorear y descubrir el estado del proceso. De esta manera, la aplicación web permite interactuar e informar a los actores del sistema una serie de rutas que posibilitan el descubrimiento de nueva información a través de las visualizaciones disponibles.

El sistema de visualización está construido con un modelador de formularios web, basado en la herramienta *BonitaSoft*; de esta manera, se dispone de una plataforma integral para el manejo del sistema de control vehicular del MAGAP del Cañar.

RESULTADOS

La implementación y puesta en marcha del sistema ha generado resultados que se describen a continuación: el sistema presenta la información a través de su interfaz de usuario accesible desde un navegador web que incluye diferentes modelos de visualización. En el siguiente apartado se ejemplifica, el seguimiento del proceso de orden de combustible para un actor despachador.

El funcionario debe acceder a la página web de la institución y digitar sus credenciales de acceso para consumir los recursos disponibles. Para este ejemplo, el usuario “Omar Javier” procede a generar una orden de

combustible como se muestra en la Figura 5. y enviar la solicitud para que esta sea revisada y validada.

Tipo	Marca	Año	Color	Placa	Motor	Chasis	Combustible	Responsable	Unidad
Doble Cabina	CHEVROLET D-MAX	2012	PLATA	ESQJNA	4.3L	RUBETFC190002993	DIESEL	OMAR JAVIER	UNIDAD DE INNOVACION TECNOLÓGICA

Figura 5. Interfaz web orden de combustible. Fuente: Sebastián Quevedo y col. 2016.

Una vez que la solicitud de orden de combustible se envía, el proceso empieza a fluir y sigue la lógica del proceso, por ello, el administrador de la institución puede monitorear y dar seguimiento al proceso. En la Figura 6, se muestra un árbol de la interacción del proceso “orden de combustible” y como se generó la lógica del proceso.

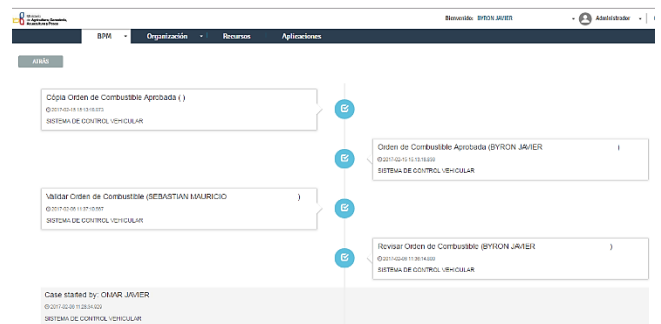


Figura 6. Seguimiento del proceso orden de combustible. Fuente: Sebastián Quevedo y col. 2016.

Estadísticas del uso del sistema

El sistema BPM implementado en el MAGAP desde el 6 de junio del 2016 hasta 6 de febrero del 2017 muestra las siguientes estadísticas:



Proceso	Caso cerrado	Caso abierto
Orden de combustibles	907	32
Orden de movilización	295	152
Acta de entrega y recepción	7	3

Tabla 1. Estadísticas de uso de proceso por caso cerrado o abierto. Fuente: Sebastián Quevedo y col. 2016.

CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

En este trabajo se presenta un sistema integral que permite automatizar y gestionar los procesos en la gestión de vehículos del MAGAP del Cañar. Como resultado, la aplicación permite modelar, construir, conectar, actualizar y gestionar los procesos de negocio que son presentados mediante modelos con vista amigable y fácil de utilizar.

Un aporte significativo a través de este trabajo es mostrar a las instituciones que un sistema basado en procesos significa mirar más allá de la recolección de datos, permitiéndoles descubrir el modelo de sus procesos y como mejorarlos gracias a la gestión de los mismos.

Otra contribución importante, es que la arquitectura de este sistema se construyó con herramientas libres y de código abierto que permite reducir la implementación, operación y mantenimiento de este tipo de sistemas.

Como trabajos futuros se plantea mejorar el sistema, con la implementación de nuevos procesos

empresariales y escalar todo el modelo de negocios del MAGAP del Cañar con el BPM.

REFERENCIAS

1. SINCLAIR, David and ZAIRI, Mohamed. Business Process Management Journal. 1997. 1995. No. 2, p. 1–5.
2. BONITASOFT. Reducir los costes y el fraude en el proceso electoral | Open Source Workflow & BPM software. 2015 [online]. 2014. [fecha de consulta: 5 de febrero de 2015]. Disponible en: <http://es.bonitasoft.com/ecosistema/referencias-de-clientes/reducir-los-costes-y-el-fraude-en-el-proceso-electoral>
3. BIZAGI. Servicios y Energía Empresa Líder en Petróleos. [online]. 2015. [fecha de consulta: 25 de abril de 2017]. Disponible en: <http://www.bizagi.com/es/clientes/casos-de-estudio/servicios-y-energia-empresa-lider-en-petroleos>
4. INTELIGENCIA, La and BUSINESS, De Negocios. Boletín de Asesoría Gerencial * Contenido. . 2008. No. 10.
5. ODEMILSON, Fernando Sentanin, ALMADA SANTOS, Fernando César and JABBOUR, Charbel José Chiappetta. Business process management in a Brazilian public research centre. *Business Process Management Journal* 2008. Vol. 14, no. 4, p. 483–496.
6. OBJECT MANAGEMENT GROUP. BPMN 2.0. [online]. [fecha de consulta: 12 Julio del 2017]. Disponible en: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>

- **Fecha de recepción:** 09/03/2017
- **Fecha de aceptación:** 27/06/2017
- **Fecha de publicación:** 29/09/2017
- Año 5, Número 1. Septiembre - diciembre, 2017.
- **Andrés Sebastián Quevedo Sacoto:** Magister en Geomática de la Universidad de Cuenca; Ingeniero de Sistemas de la Universidad Politécnica Salesiana. Catedrático de la Universidad Católica de Cuenca.
- **Martin Zhindon:** Magister en Redes de Comunicaciones de la Universidad del Azuay. Docente de la Universidad Católica de Cuenca.
- **Paúl Chérrez:** Magister en Redes de Comunicaciones, Cuarto nivel de la Universidad Pontificia Católica del Ecuador; Sub director de Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Católica de Cuenca.
- **Victor Fabian Duman Tenezaca:** Ingeniero de sistemas de la Universidad Católica de Cuenca; Desarrollo de Software, MAGAP.



ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA RODADURA EN UN CAMINO MINERO.

Por: Yorlandis Oliveros Blanco.

RESUMEN

En este trabajo se realiza una investigación acerca de los valores del coeficiente de adherencia de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de los caminos mineros (temporales y permanentes) explotados en la empresa cubana *comandante Ernesto Che Guevara* (ECECG). La determinación experimental de este parámetro se realizó a partir de considerar los valores de fuerza de tracción desarrollada por estos vehículos. Las mediciones de la fuerza de tracción se realizaron empleando un dinamómetro PCE-DDM 50 con rango de hasta 50 toneladas asegurando así, la condición de normalidad para un nivel de confianza del 95 %.

Palabras clave: Coeficiente de Adherencia, Caminos mineros, Camión minero VOLVO A 40E.

ABSTRACT

In this work will be performed an investigation about the values of the adhesion coefficient of the wheels of trucks VOLVO TO 40E against the surface of the mining roads (temporary and permanent) used in the "Commanding Company Ernesto Che Guevara (ECECG)". The experimental determination of this parameter was done considering the traction force developed between the vehicles. The traction forces measures were carried out using a dynamometer PCE-DDM 50, with range of up to 50 tons assuring the normality condition, for a level of trust of 95%.

Key words: Adhesion Coefficient, Mining roads, VOLVO A 40E Mining Trucks.

INTRODUCCIÓN

La empresa cubana *comandante Ernesto Che Guevara* (ECECG) procesadora de minas de níquel tiene una productividad de 30 000 t/año. El proceso tecnológico desarrollado incluye la homogeneización mullido y acarreado de las menas lateríticas. El relieve donde están ubicados los yacimientos de esta unidad es típicamente montañosos y abruptos; relieves constituidos por colinas elevadas, pequeñas, y medianas mesetas cuyas alturas oscilan entre 600 y 1100 m sobre el nivel del mar principalmente hacia el sur donde el relieve es más accidentado con dirección submeridional; hacia el norte el relieve se hace más suave con cotas que oscilan entre 40 y 50 m como máximo. Esta región se caracteriza por la presencia de potentes cortezas de intemperismo lateríticas sobre las rocas ultrabásicas y básicas de la asociación ofiolítica, con inclinación hacia el sur, rangos de pendientes variables, y desmembrado en tres sectores por valles muy profundos, correspondientes a las áreas ínter fluviales Moa, los Lirios, y Yagrumaje.

El transporte minero constituye uno de los eslabones principales dentro del proceso tecnológico de extracción, carga y traslado de las masas mineras acarreadas en la ECECG de Moa. Una empresa donde el sector del transporte automotor minero (camiones VOLVO A 40E) aparece como uno de los principales consumidores de derivados del petróleo al punto, que actualmente en esta unidad los consumos vinculados a este sector superan los 11 000 litros de combustible al mes.

Los neumáticos son responsables de una parte importante (alrededor del 20%) del consumo de combustible de un vehículo. Los camiones VOLVO A 40E empleados en la empresa *comandante Ernesto Che Guevara* de Moa emplean neumáticos de fabricación china Modelo (775/65R29 875/65R29). Se trata de neumáticos radiales con dibujo transversal, y reforzados con alambre de acero. Los elevados consumos, así como, la baja productividad que experimentan estos vehículos está en gran medida



asociada a deslizamientos laterales, patinajes de las ruedas con la superficie de caminos pocos firmes y muy húmedos, entre otros, fenómenos que afectan el rendimiento, así como, la inversión inicial de estos equipos.

Es evidente, que cuando un vehículo rueda, y especialmente en la frenada la banda de rodadura del neumático se deforma en un rango de frecuencia elevado que corresponde a su deformación sobre las rugosidades del camino. Las fuerzas generadas en el contacto neumático - calzada influyen de manera importante en las características dinámicas del vehículo¹.

Gran parte de los esfuerzos que actúan en un automóvil se generan en los neumáticos es por, ello, fundamental comprender el funcionamiento de dichos componentes para entender los esfuerzos actuantes sobre el vehículo, y en definitiva, la dinámica de los mismos; en este sentido se determinan los valores del coeficiente de adherencia de las ruedas del camión VOLVO A 40E con la superficie de los caminos mineros (temporales y permanentes) explotados en la ECECG. Finalmente se ha de señalar, que varios autores entre los que destacan: Szczepaniak²; Fernández³; Potapov⁴; Barallobre⁵ han establecidos diferentes criterios en vista de fijar los valores de este parámetro; sin embargo, ninguno de estos ha considerado la superficie que señalan a los caminos mineros (temporales y permanentes) objeto, que precisamente ocupa nuestra investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Para la confirmación de la hipótesis del experimento que refiere la determinación del coeficiente de adherencia de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de los caminos mineros (temporales y permanentes) empleados en la empresa *comandante Ernesto Che Guevara*, se escogió un diseño de experimento de bloques aleatorio con una variable de entrada (i) y siete niveles (tratamiento), y se estratificó con arreglo al parámetro carga (camión cargado y

camión vacío), y sentido del movimiento del camión (movimiento del camión en pendiente hacia arriba y hacia abajo). La hipótesis antes señalada estuvo basada, en determinar si las variaciones mostradas entre los valores del coeficiente de adherencia de las ruedas del camión VOLVO A 40E para distintas pendientes del camino minero son significativas.

SELECCIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA Y SUS NIVELES

En la determinación del coeficiente de adherencia de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de los caminos mineros (temporales y permanentes) la variable de entrada se consideró en el orden de dos a nueve % Barallobre⁵. Este orden fue establecido a partir de los estándares (poco más del 8 %) cubanos para la construcción de caminos mineros. Se escogió esta variable debido a su marcada influencia en los valores del coeficiente de adherencia, además, de su facilidad a la hora de cuantificarla.

CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE SALIDA

Luego de haber medido experimentalmente los valores de la fuerza de tracción (F_t), así como, el peso del camión (P_0) y el peso de la carga (P_c) se procedió al cálculo de los valores del coeficiente de adherencia de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E con la superficie de los caminos (temporales y permanentes) establecidos en la empresa *comandante Ernesto Che Guevara*, (w_{rod}). Los valores experimentales del parámetro antes mencionado se obtuvieron a partir de lo expresado en la siguiente ecuación.

$$F_t = w_{adh} \cdot P$$
$$P = P_0 + P_c$$

Donde, F_t : fuerza de tracción; N, w_{adh} : coeficiente de adherencia; N/kN, P: peso total del camión; t, P_0 : peso propio del camión; t, P_c : peso de la carga; t.



MATRIZ DE EXPERIMENTACIÓN

Es destacable que para el caso analizado se considera, que de las variables involucradas en el proceso, y atendiendo a las características propias que refiere la experimentación del coeficiente de adherencia de las ruedas de los camiones VOLVO A40E con la superficie de los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la empresa *Comandante Ernesto Che Guevara*, las más importantes son las que aparecen reflejadas en la Tabla. 2.1.

Pendiente	Bloques	
	Hacia arriba	Hacia abajo
	Réplicas	Réplicas
i=2	W_{adh}	W_{adh}
i=3	.	.
i=4	.	.
i=5	.	.
i=6	.	.
i=7	.	.
i=9	.	.

Tabla 1. Matriz de planificación del experimento. Coeficiente de adherencia.

MATERIALES EMPLEADOS EN LOS EXPERIMENTOS

Para determinar el coeficiente de adherencia se emplearon los siguientes equipos:

Dinamómetro: aparato utilizado para medir la fuerza de tracción entre los dos camiones VOLVO A 40E.

Dinamómetro de tracción PCE-DDM 50.

Especificaciones técnicas.

Rango: 50.000 kg /500 kN

Resolución: 20 kg / 200 N

Peso mín. 400 kg

Peso: 39 kg

Con grilletes: 128 kg

Barra de tiro: elemento empleado para acoplar el dinamómetro entre los camiones.

Pesa: YUK-1-500/10000-10-20.0, N 8126:

dispositivo empleado para pesar los camiones VOLVO A 40E.

MUESTREO ALEATORIO SIMPLE

Se utilizó el muestreo aleatorio simple a partir de las expresiones de cálculos recomendadas por Miller⁶. Este muestreo se seleccionó teniendo en cuenta las características propias que refiere la experimentación del coeficiente de adherencia de las ruedas de los camiones VOLVO A40E con la superficie de los caminos mineros (temporales y permanentes) establecidos en la empresa *comandante Ernesto Che Guevara*. La cantidad de mediciones a realizar se determinó al considerar las siguientes aproximaciones para el cálculo: estadístico de la distribución normal igual a 1,96, nivel de significancia igual a 0,1, error máximo de estimación igual a la desviación típica y un nivel de confianza del 95 %.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para proceder con la medición del coeficiente de adherencia inicialmente, se midió la fuerza de tracción (parámetro muestreado) desarrollada por dos camiones VOLVO A 40E. En esta oportunidad se instaló un dinamómetro PCE-DDM 50 entre los dos vehículos en tracción.

Los valores de la fuerza de tracción fueron tomados para varias condiciones de movimiento (caminos horizontales, vías con pendiente ascendente, y descendente de hasta 9 % de inclinación; se consideró además, el traslado del camión tanto cargado como vacío) de los camiones; luego de haber medido los valores de este parámetro (fuerza de tracción), así como, el peso (YUK-1- 500/10000) del camión, y el peso de la carga se procedió al cálculo (expresión 2.1) de los valores del coeficiente de adherencia.

En esta ocasión se ha escogido uno de los caminos mineros que forman parte del yacimiento Yagrumaje Sur, depósito perteneciente a la Mina de la ECECG de Moa. Este perfil presenta una traza (Ver Figura 1) bastante accidentada la cual, se compone de un total de 9 tramos, $k = 1,2,\dots,9$, cada uno de ellos con disímiles valores de inclinación (pendiente del camino minero), valores que están el orden de: $2 \leq i \leq 9$.

Los resultados obtenidos se reflejan a continuación.

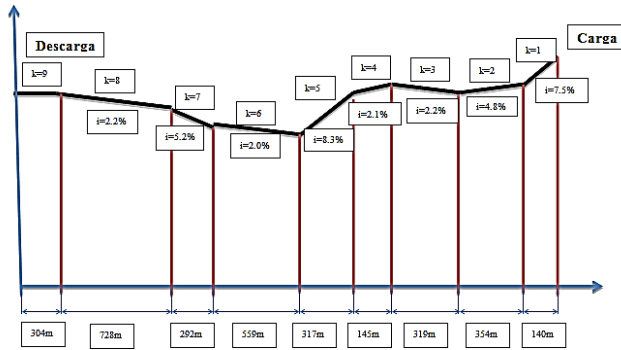


Figura 1. Perfil del camino minero. Yacimiento Yagrumage Sur, Moa, Cuba.

ANÁLISIS DE LA REPRESENTATIVIDAD DE LA MUESTRA

La representatividad de la muestra se verifica teniendo en cuenta lo recomendado por Miller⁶. Este parámetro se determinó al considerar los siguientes criterios: estadístico de la distribución normal ($Z_{\alpha/2}$) igual a 1,96, nivel de significancia (α) igual a 0,05, error máximo de estimación igual a la desviación típica (no se conoce de antemano los valores de los términos involucrados en el modelo ya que no se han realizados trabajos en este sentido), y un nivel de confianza del 95 %, luego tenemos que: $n=3,84 \approx 4$. Por otro lado, es preciso señalar que debe tenerse en cuenta criterios tales como: mayor representatividad, menor costo, mayor productividad, entre otros⁷; para el caso de estudio se trabajó con un tamaño de muestra igual a 40.

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE ADHERENCIA DEL CAMION VOLVO A 40E. TRAMO HORIZONTAL

El gráfico que aparece a continuación (Figura 2) representa los valores de del coeficiente de adherencia de las ruedas de los camiones VOLVO A 40E cuando el mismo transita cargado y por un tramo horizontal.

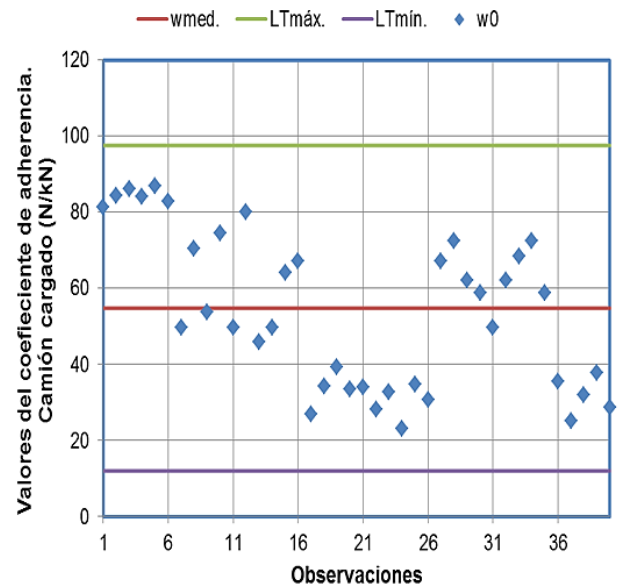


Figura 2. Valores del coeficiente de adherencia. Tramo horizontal y camión cargado.

En los cálculos se estableció el nivel de significancia, $\alpha=0,05$ (muestra grande, que implicó el empleo del estadístico Z con valor, $Z=1,96$). Al evaluar, que todas las observaciones están dentro de los límites de control se puede asumir (criterio de Gauss) que la media con valor de 54,8 N/kN es representativa de la tendencia del coeficiente de adherencia de las ruedas del camión VOLVO A 40E con la superficie de los caminos (temporales y permanentes) explotados en la ECECG de Moa. Esto significa, que existe una probabilidad de un 95 % de que si se realizan las mediciones de esta variable en condiciones similares sus valores estén en el rango de $w_{adh}=12,05$ a 97,55.

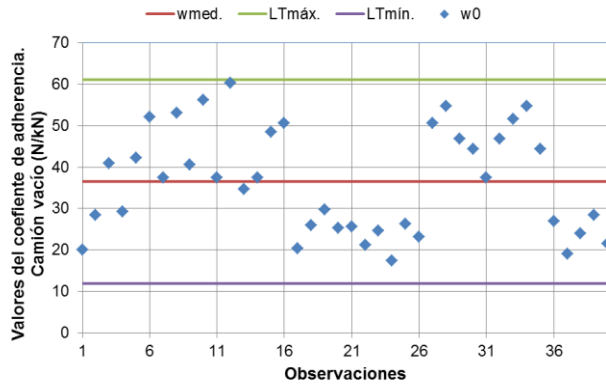


Figura 3. Valores del coeficiente de adherencia. Tramo horizontal y camión vacío.

De manera similar a lo planteado en el punto anterior, la Figura 3 muestra que la media con valor de 36,53 N/kN es representativa de la tendencia del coeficiente de adherencia de las ruedas del camión VOLVO A 40E cuando el mismo transita vacío, y por un tramo horizontal, ello, significa que existe una probabilidad de un 95 % de que si se realizan las mediciones de esta variable en condiciones similares sus valores estén en el rango de $w_{adh} = 11,95$ a 61,11.

Para el camión cargado se obtuvo $F_{calc} = 7,69$ mayor que $F_{crítico} = 3,96$, y para el camión vacío $F_{calc} = 142,44$ mayor que $F_{crítico} = 3,96$.

Donde: $F_{crítico} = 3,96$ es el valor de $F_{0,05}$ con uno y 78 grados de libertad. Como se puede apreciar las pendientes del camino minero por el cual se desplaza el camión VOLVO A 40E influyen significativamente en los valores del coeficiente de adherencia de las ruedas con la superficie de los caminos (temporales y permanentes).

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE ADHERENCIA DEL CAMIÓN VOLVO A 40E. TRAMOS INCLINADOS

Las figuras que aparecen a continuación (Figura 4 y 5) representan los valores del coeficiente de adherencia de las ruedas del camión VOLVO A 40E cuando transita (camión cargado/vacío, y pendiente hacia arriba/abajo) por los caminos mineros (temporales y permanentes) explotados en la ECECG de Moa.

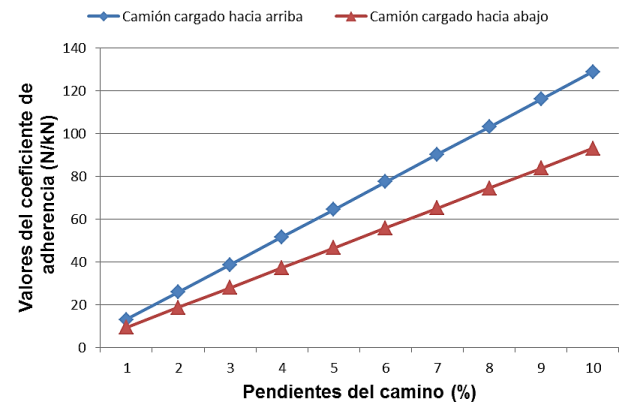


Figura 4. Valores del coeficiente de adherencia. Tramos inclinados. Camión cargado.

Para el análisis del coeficiente de adherencia cuando el camión VOLVO A 40E transita cargado, y con movimiento ascendente tenemos que:

$$w_{adh.carg.arriba} = \sum_{k=1}^n 13,6 \cdot i_k \quad | i_k \in N$$

Donde k: representa el número de tramos del camino minero; $k = 1, 2, \dots, 9$.

Para el tramo del camino minero, $k = 6$ que presenta la pendiente menos pronunciada, esto es $i = 2\%$, el coeficiente de adherencia toma valores de $w_{adh.carg.arriba} = 28 N / kN$.

Por otro lado, cuando en el camino minero se analiza el tramo, $k = 5$ tramo que según el perfil analizado presenta la mayor inclinación, esto es $i = 8,3\%$, tenemos que: $w_{adh.carg.arriba} = 105 N / kN$.

Cuando se analiza el movimiento del camión cargado, y en pendiente hacia abajo tenemos que:

$$w_{adh.carg.abajo} = \sum_{k=1}^n 9,44 \cdot i_k \quad | \text{ieN.}$$

Para el tramo del camino minero, $k = 6$, recorrido de menor grado de inclinación, $i = 2\%$ el coeficiente de adherencia toma valores de hasta $w_{adh.carg.arriba} = 18N / kN$, no así para cuando el tramo que se analiza, en este caso $k = 5$ presenta su máxima elevación, $i = 8,3\%$, donde el coeficiente de adherencia alcanza valores de hasta $w_{adh.carg.arriba} = 75N / kN$; para los tramos tales que $k = 1,2,3,4,7,8, \text{ y } 9$, los valores del coeficiente de adherencia varían entre, $18 \leq w_{adh} \leq 105 \text{ N/kN}$.

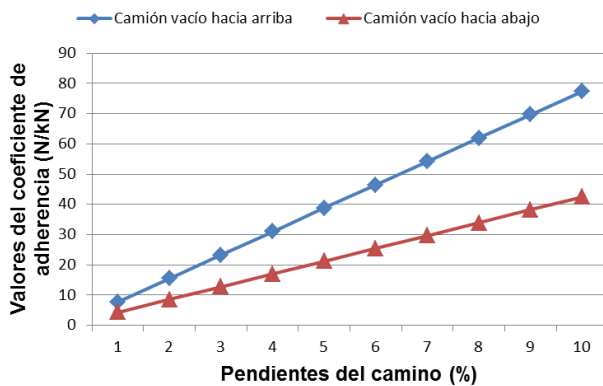


Figura 5. Valores del coeficiente de adherencia. Tramos inclinados Camión vacío.

Al analizar el movimiento del camión vacío en pendiente hacia arriba, y conociendo, además, que bajo estas condiciones el vehículo transita por el mismo perfil de camino minero, es decir, que el camino analizado tiene la misma cantidad de tramos $k = 1,2, \dots, 9$, así como, los mismos valores de inclinación de la traza (camino minero), esto es

$$2 \leq i \leq 9 \text{ tenemos que: } w_{adh.carg.arriba} = \sum_{k=1}^n 9,6 \cdot i_k \quad | \text{ieN.}$$

Para el tramo del camino minero, $k = 6$ que presenta la menor pendiente, esto es $i = 2\%$, el coeficiente de adherencia toma valores de $w_{adh.vacio.arriba} = 17N / kN$

Por otro lado, cuando en el camino minero se considera el tramo, $k = 5$, recorrido que presenta la mayor inclinación, $i = 8,3\%$, tenemos que $w_{adh.carg.arriba} = 63N / kN$.

Por otra parte, y al analizar el movimiento del camión vacío, y pendiente hacia abajo tenemos, que el coeficiente de adherencia queda definido por la siguiente expresión: $w_{adh.vacio.abajo} = \sum_{k=1}^n 4,83 \cdot i_k \quad | \text{ieN.}$

Si se considera el tramo del camino minero, $k = 6$, tramo que presenta la menor inclinación, $i = 2\%$ el coeficiente de adherencia toma valores de $w_{adh.carg.arriba} = 9N / kN$, no así para cuando el tramo que se analiza, $k = 5$ presenta su máxima pendiente, esta es: $i = 8,3\%$, en cuyo caso el coeficiente de adherencia alcanza valores de hasta $w_{adh.carg.arriba} = 34N / kN$; para los tramos restantes, esto es $k = 1,2,3,4,7,8, \text{ y } 9$, los valores del coeficiente de adherencia varían entre, $9 \leq w_{adh} \leq 63 \text{ N/kN}$.

Finalmente es necesario destacar, que para cada uno de los modelos (expresiones 3.1 a 3.4) señalados anteriormente el coeficiente de determinación estuvo próximo a la unidad; el valor de F_{calc} fue mayor que F_{crit} , y la probabilidad, J_{valor} para el coeficiente de adherencia de las ruedas del camión VOLVO A 40E fue menor que el nivel de significancia por lo que los modelos son significativos. Lo anteriormente referido evidencia que dichos modelos pueden emplearse para pronosticar los valores de este parámetro (w_{rod}) cuando se conocen las pendientes de los caminos mineros (temporales y permanentes).



CONCLUSIONES

El análisis del coeficiente de adherencia de las ruedas del camión VOLVO A 40E con la superficie de los caminos mineros (temporales y permanentes) explotados en la empresa *comandante Ernesto Che Guevara* refleja, que los valores más racionales de este parámetro están en el orden de 77 a 130 N/kN.

Las características de los neumáticos empleados en los camiones VOLVO A 40E, así como, las particularidades que refieren los caminos mineros (temporales y permanentes) explotados en la ECECG de Moa alteran las condiciones de adherencia de estos elementos (neumáticos) con la superficie de rodadura de los caminos, fenómenos que redundan en importantes aumentos del consumo de combustible de estos equipos.

REFERENCIAS

1. Guo, K. & Lu, D. Unified tire model for vehicle dynamic simulation. Vehicle System Dynamics. *Unitire* 2007.
2. SZCZEPANIAK, K. et al. *Teoría del automóvil*. La Habana: Pueblo y Educación, 1974.
3. FERNÁNDEZ, J.; et al. *Maquinaria de obras*. La Habana: Juan Marinello, 1985.
4. POTAPOV, N. G. *Transporte en las canteras*. Moscú: Niedra, 1985.
5. Barallobre, Y. *Establecimiento de los parámetros tecnológicos del equipamiento para la construcción de caminos mineros en la empresa comandante Ernesto Che Guevara*. Dr. C. Ing. Roberto Johan. Sierra Pérez (tutor). Proyecto fin de carrera. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2006.
6. MILLER R.; et al. *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. La Habana: Félix Varela, 2005.
7. CALERO, A. *Técnicas de muestreo*. La Habana: Pueblo y Educación, 1976.

BIBLIOGRAFÍAS

- Andronic, F.; et al. Pasive suspension modeling using Matlab quarter car model input signal step type. *Tehnomus*. Suceava, 2013.

- Agostinacchio, M. et al. The vibrations induced by surface irregularities in road pavements a Matlab approach. *European Transportation Research*, 2013: 267-275.
- Barallobre, Y. *Establecimiento de los parámetros tecnológicos del equipamiento para la construcción de caminos mineros en la empresa comandante Ernesto Che Guevara*. Dr. C. Ing. Roberto Johan. Sierra Pérez (tutor). Proyecto fin de carrera. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2006.
- CALERO, A. *Técnicas de muestreo*. La Habana: Pueblo y Educación, 1976.
- FERNÁNDEZ, J.; et al. *Maquinaria de obras*. La Habana: Juan Marinello, 1985.
- GARCÍA, P. D. *Modelo de contacto neumático-calzada a baja velocidad*. Dr. D. Vicente Díaz López (tutor), y Dra. María Jesús López Boada (tutor). Tesis Doctoral. Universidad Carlos III de Madrid, 2008.
- Guo, K. & Lu, D. Unified tire model for vehicle dynamic simulation. Vehicle System Dynamics. *Unitire* 2007.
- HERAS, B. C. *Estudio del comportamiento dinámico de la banda de rodadura de un neumático*. Dra. María Jesús López Boada (tutor). Proyecto fin de carrera. Universidad Carlos III de Madrid, 2010.
- Johannesson, P.; et al. Modelling roughness of road profiles using roughness indicators. *Matematiska vetenskaper*. Göteborg, 2012: 4 p.
- MILLER R.; et al. *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. La Habana: Félix Varela, 2005.
- Mitra A.; et al. Simulation and Analysis of full car model for various road profile on a analytically validated Matlab/Simulink model. *Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*. Durgapur, 2014: 22-23p.
- MONTGOMERY. D. C. *Diseño y análisis de experimentos*. La Habana, 2004.
- Oliveros, Y. *Evaluación de los parámetros tecnológicos y de explotación del transporte automotor minero empleado en la empresa comandante Ernesto Che Guevara*. ISMM. Dr. C. Roberto J. Sierra Pérez (tutor). Tesis de Maestría, Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2015.
- Oscar, G. T. *Reseña sobre los trabajos de mejoramiento de la adherencia neumático pavimento en la pista del Aeropuerto Jorge Newbery (Buenos Aires República Argentina)*, Buenos Aires, 2002.
- Patel, C. B.; et al. Modelling and vibration analysis of a road profile measuring system. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)*, 2010, Volume 1: 13-28 p.
- POTAPOV, N. G. *Transporte en las canteras*. Moscú: Niedra, 1985.
- SPIVAKOSKI, A.; et al. *Máquinas y complejos de transporte en las labores minera*. Moscú: Niedra, 1983.
- SZCZEPANIAK, K. et al. *Teoría del automóvil*. La Habana: Pueblo y Educación, 1974

- **Fecha de recepción:** 16/11/2016
- **Fecha de aceptación:** 23/01/2017
- **Fecha de publicación:** 29/09/2017
- Año 5, Número 1. Septiembre - diciembre, 2017.
- **Yorlandis Oliveros Blanco:** Máster en Ciencias, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa; Profesora universitaria en Cuba.