

## LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO Y SU RELACIÓN CON LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PYMES DE MEDELLÍN

María Isabel Ardila Marín<sup>1,2\*</sup>, Juan Carlos Orrego Barrera<sup>3</sup>, Carlos Alberto Acevedo Álvarez<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Magíster en Gestión Energética Industrial (c), Departamento de Mecatrónica & Electromecánica, Facultad de Ingenierías. Instituto Tecnológico Metropolitano. Grupo MATyER. <sup>2</sup>Departamento de Mecánica y afines, Facultad de Ingenierías. Institución Universitaria Pascual Bravo. Grupo GIEN.

<sup>3</sup>Magíster en Gestión Energética Industrial, Director Mantonline, <sup>4</sup>Magíster en Ingeniería, Departamento de Mecatrónica & Electromecánica, Facultad de Ingenierías. Instituto Tecnológico Metropolitano. Grupo MATyER

\*Correo del autor responsable: [isabel.ardila@pascualbravo.edu.co](mailto:isabel.ardila@pascualbravo.edu.co)

### RESUMEN

El programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales – PROURE, define como indicador para evaluar el comportamiento de la economía del país en relación con el consumo de energía “la intensidad energética”, este relaciona la eficiencia energética y la productividad; como consecuencia refleja entonces el uso racional y eficiente de la misma en función de la producción por lo que es de vital importancia impulsar programas y estrategias que conduzcan al uso racional de la energía, cumpliendo a la vez con el marco normativo que establece la ley 697/2001 donde se declara el URE (uso racional de la energía) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional para asegurar: el abastecimiento energético pleno y oportuno y la competitividad de la economía colombiana de manera sostenible con el medio ambiente. La energía eléctrica se constituye en el energético más costoso de la canasta energética del país, siendo para el sector industrial su demanda la más intensiva; es por eso que este estudio trata de determinar que relación existe entre el consumo de energía y las unidades producidas, identificando a la vez como las acciones de mantenimiento que se ejecutan en los activos influyen en la eficiencia energética, y así establecer la relación URE -

mantenimiento para el logro de beneficios en la rentabilidad de las empresas y obtener herramientas más sólidas que ayuden a justificar desde el punto de vista de la gestión del mantenimiento el aumento de la eficiencia energética obtenida para los periodos evaluados respectivamente. De cinco pymes de Medellín pertenecientes al sector manufacturero se obtuvieron datos de unidades producidas, recursos energéticos consumidos y acciones de mantenimiento para un periodo de 12 meses y se determinó como la gestión del mantenimiento contribuye con la eficiencia energética puesto que a menores acciones correctivas (entre un 20 y 50%) se identificaron consumos en recursos energéticos menores (entre 8 y 19%), lo que favorece la productividad en el periodo evaluado.

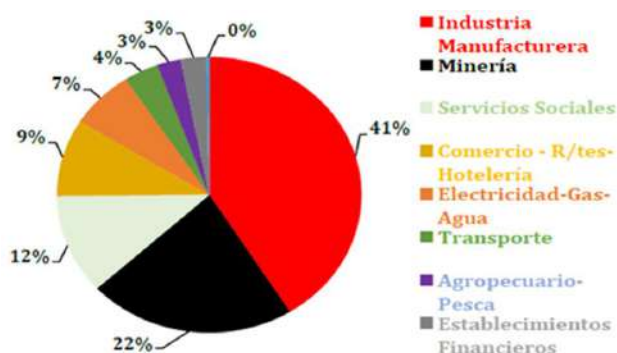
**Palabras clave:** URE, Mantenimiento correctivo, Mantenimiento preventivo, Eficiencia energética, Productividad, Competitividad.

### 1. CONSUMO ENERGÉTICO EN COLOMBIA

En Colombia por contar con gran diversidad de recursos energéticos que garantizan la posibilidad de suplir su demanda interna no se

han generado proyectos representativos en uso racional y eficiente de la energía [1].

En la figura 1 se aprecia la distribución del consumo de energía eléctrica en las diferentes actividades económicas que hacen parte de la demanda no regulada en el país, siendo la industrial la más intensiva en demanda de energía eléctrica.



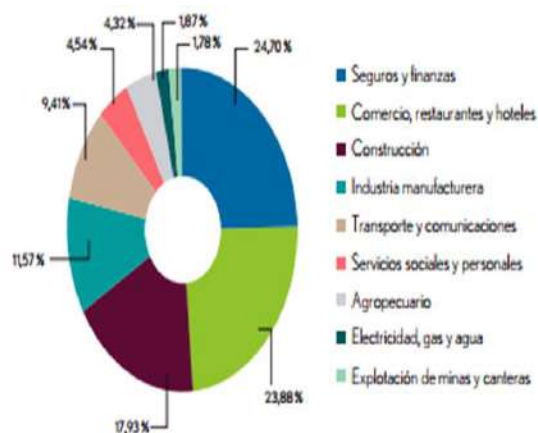
**Figura 1. Distribución Consumo de Energía Eléctrica 2004 - 2014. Fuente: Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia (Revisión noviembre de 2014)**

Al utilizar los recursos energéticos de modo más eficiente significa un menor costo de energía como factor productivo y en consecuencia una mejora de competitividad de las empresas [3]. Para los países desarrollados hacer uso más eficiente de la energía a través de la implementación de equipos de última tecnología es una estrategia que se aplica con facilidad, pero en Colombia dicha estrategia es difícil de implementar debido entre algunos factores a las edades de los equipos que conforman los procesos productivos, mayores de 5 años (77,12%), la falta de cultura de eficiencia energética y el descuido de las instalaciones con que se cuenta [4].

El motor de desarrollo del país lo constituye su estructura empresarial, del total de empresas establecidas en Antioquia y Medellín, 89%

corresponde a microempresas, seguidas por pequeñas 8%, mediana 2.3% y gran empresa 0.7%, lo que demuestra la representación de las Pymes en la ciudad y la necesidad de hacer de este gremio más competitivo y rentable. En la figura 2 pueden observarse los sectores productivos más representativos para Antioquia, para las microempresas el 11,57% corresponde a industria manufacturera [2].

La importancia de la industria manufacturera radica en que en ella se da la posibilidad de generar valor agregado y jalonar la economía nacional, debido a sus altas demandas de materias primas y servicios especializados [2], por lo que para ser productiva y competitiva debe hacer un uso adecuado de los recursos con los que dispone para su actividad, entre los que está la energía eléctrica.



**Figura 2. Estructura empresarial en Antioquia según grandes ramas de actividad económica. Fuente: (RAED, 2017)**

La Unidad De Planeación Minero Energética (UPME) reporta como principales características del consumo energético en el sector industrial [1].

- Alto consumo de energía térmica debido a poca eficiencia en los procesos de combustión

- Obsolescencia tecnológica en equipo eléctrico y térmico
- Omisión de buenas prácticas de operación y uso racional de la energía

En América Latina son pocos los países que han llevado programas exitosos respecto al URE, esto se debe a la falta de concientización sobre la importancia del tema, falta de regulación por parte del estado y prácticas deficientes en los sectores consumidores [6]. Es acá donde puede considerarse lo expuesto por Piotrowski (2007) sobre la implementación de labores sistemáticas de mantenimiento que aportan al URE ahorros en la utilización de la energía entre un 28% y 67%, premisa que en la industria del país no se ha planteado ni evidenciado, excepto por el estudio realizado por Orrego en el 2011 donde hay una leve aproximación a las afirmaciones de Piotrowski, quien en sus trabajos junto con Sullivan [7] muestra que el costo operativo de un activo es mayor si las acciones de mantenimiento tienden a ser solo correctivas, esto puede verse en la tabla 1.

**Tabla 1. Costo operativo según tipo de mantenimiento**

Tipo de mantenimiento	US\$/hp/año (costo de operación)
Correctivo	18
Preventivo	13
Predictivo	9
Centrado en confiabilidad	6

Fuente: Piotrowski, 2007 y Sullivan, 2004

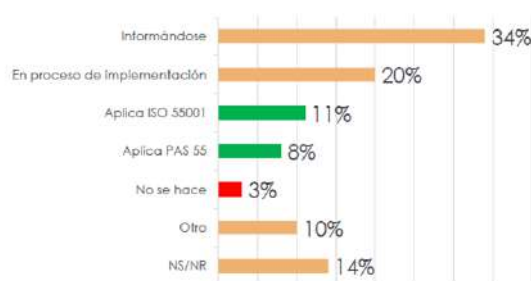
En Colombia, optimizar el uso de la energía a partir de cambio de tecnología como se hace en otros países no es posible por los costos que esto implica; pero se han adelantado acciones que van hacia la cultura URE que se requiere, como son el cambio de iluminación

incandescente por fluorescente, mejor aislamiento de tuberías y el uso de motores eléctricos de alta eficiencia [4]. Pero con estas acciones aún no se logran los niveles de competitividad requeridos que se imponen actualmente por la globalización, para lo cual queda la opción de convencerse que “un activo bien mantenido” consume menos energía que el que no lo está. Los tipos de mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo y modificativo y las estrategias de mantenimiento TPM (mantenimiento productivo total) y RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad); deben combinarse de tal modo que logren resultados exitosos en cuanto a la competitividad y rentabilidad de las industrias [7]. La disminución del desperdicio de energía es un objetivo claro a lograr con la implementación de estas acciones, siendo uno de ellos el consumo excesivo de energía por mal estado de la maquinaria y equipos. Con esto podrían disminuirse costos para las Pymes, haciéndolas por lo tanto más competitivas.

El estudio del diagnóstico del mantenimiento en Colombia de ACIEM para el año 2015, entrega los resultados donde se evidencia una tendencia reactiva de la industria frente al mantenimiento de sus activos, el 46% de los casos corresponden a las modalidades de mantenimiento correctivo [9]. Por lo tanto, se evidencia la necesidad de promover acciones que contribuyan con la creación de cultura de mantenimiento, justificando este hecho desde el punto de vista energético con la proyección de lograr disminuir el consumo energético en el proceso productivo donde intervienen los activos a mantener a partir de la gestión del mantenimiento y así mejorar el nivel de producción de las Pymes en el país al contribuir con la disminución de los costos de producción para impactar directamente su productividad.

## 2. RELACIÓN URE MANTENIMIENTO

De acuerdo al informe entregado por ACIEM (Asociación Colombiana de Ingenieros Eléctricos y Mecánicos) sobre el Diagnóstico del Mantenimiento en Colombia, año 2015; la relación de las empresas con la Gestión de activos es incipiente, solo el 19% de las empresas encuestadas implementan gestión de activos bajo algún tipo de certificación, como se ve en la figura 3 [9].



**Figura 3. Relación de la empresa con la Gestión de Activos. Fuente: (Diagnóstico del Mantenimiento en Colombia – Aciem, 2015)**

Es acá donde los departamentos de mantenimiento al interior de las empresas se convierten en responsables en la disminución de los consumos energéticos, aumentando por ende la eficiencia energética que promueve el Ministerio de Minas y Energía a través del PROURE, quien en su afán de asegurar el abastecimiento energético, el desarrollo del país, la competitividad de la economía nacional y la promoción de fuentes no convencionales de energía y la protección ambiental, promueve entre otros programas, la promoción de su desempeño energético y posterior incidencia en los costos operativos de cualquier compañía.

Existen trabajos que evidencian la relación URE – Mantenimiento, especialmente el realizado en el Área Metropolitana, “Análisis

energético industrial del Valle de Aburra”, donde se muestra que existe un gran potencial de ahorro energético para la industria; pero donde se ve el que debe hacerse y el porqué, más no muestra cómo hacerlo [10].

Existen estudios orientados a problemas específicos de consumos energéticos pero en equipos puntuales como sistemas de acondicionamiento de aire, calderas o equipos de bombeo, entre otros; pero estudios orientados a relacionar la metodología del mantenimiento usada en las empresas con la eficiencia energética solo se inician con Piotrowski [6].

Las acciones de mantenimiento preventivo y predictivo contribuyen a disminuir consumos energéticos, pero las estrategias modernas de mantenimiento (TPM –Total productive Maintenance y RCM – Reliability Centred Maintenance) aportan herramientas para formular y controlar las variables que intervienen en los equipos y que relacionan las funciones de estos con sus consumos energéticos [11].

Para lograr la relación del mantenimiento con el URE y determinar las acciones y estrategias que contribuyan con el aumento de la eficiencia energética deben ser estudiados tres factores simultáneamente [4]:

- Consumos energéticos
- Unidades de producción
- Estrategias de mantenimiento

A partir de estos factores y su relación se determina la eficiencia energética en el rendimiento de los activos, estando este último estrechamente ligado con el mantenimiento. Por ello, deben establecerse los potenciales ahorros en el consumo de energía a partir de las acciones y estrategias adecuadas de mantenimiento, las cuales son definidas según

el contexto operacional de los diferentes activos que intervienen en el proceso productivo, contribuyendo así con mejorar el rendimiento de estos activos [12].

### 3. CASOS DE ESTUDIO PYMES DE MEDELLÍN

Para identificar si existe una relación entre la gestión del mantenimiento con el URE y poder determinar las acciones y estrategias que contribuyan con el aumento de la eficiencia energética se tomaron datos de: Consumos energéticos, Unidades de producción y acciones de mantenimiento para un periodo de 12 meses, de cinco Pymes de la ciudad de Medellín (todas con menos de 200 empleados). En las tablas 2 y 3 se ilustran dichos datos para una de las Pymes estudiadas cuya característica es que trabaja bajo el enfoque de mantenimiento correctivo sin acciones de mantenimiento preventivo registradas en su sistema de información. Es importante resaltar que el estudio se desarrolló con la información obtenida de las empresas tal cual es registrada y almacenada por ellas.

**Tabla 2. Consumo energético y kilos producidos empresa**

Mes	kWh	kg total	kg trefilación	kg cabeceada
ENE	82242,46	222513,5	122795,3	99718,2
FEB	86967,06	231738,4	110957,1	120781,3
MAR	94513,98	247472,1	133351,1	114121,0
APR	97967,76	303705,6	150557,0	153148,6
MAY	104614,62	268695,2	132933,4	135761,8
JUN	101249,94	259113,6	129559,0	129554,6
JUL	105346,89	274668,4	154510,4	120158,0
AGO	106397,61	263228,3	141628,0	121600,3
SEP	117280,35	290918,7	178885,5	112033,2
OCT	109593,72	286256,1	144098,0	142158,1
NOV	100504,47	228394,9	114236,2	114158,7
DIC	73234,92	157596,2	77755,5	79840,7

Fuente: elaboración propia

Con los datos de la tabla 2 se determinó la correlación entre la energía usada y la producción obtenida revelando información importante sobre la eficiencia del proceso (ver figura 4). La UPME indica en su publicación “Herramientas para el análisis de caracterización de la eficiencia energética” (<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/herramientas.pdf>) que una correlación entre estas variables de 0.85 se cataloga como buena y que con la ecuación obtenida pueden hacerse proyecciones futuras. Para las tres empresas del estudio se encontraron correlaciones de 0.95, 0.71 y 0.30; lo que evidenció la falta de seguimiento a la “eficiencia energética” con estos datos, lo que justifica desde el punto de vista energético la necesidad de implementar estrategias que ayuden a alcanzar la correlación de 0.85 recomendada.

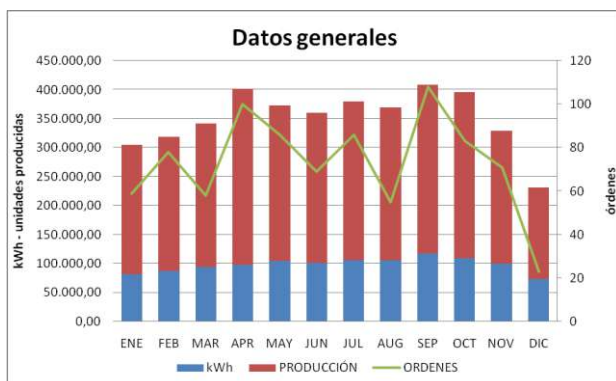


**Figura 4. Relación producción y consumo de energía para la empresa**  
Fuente: elaboración propia

Para identificar una posible correlación de la información hasta el momento analizada con las actividades de mantenimiento en la figura 5 se ilustran los datos obtenidos para los respectivos meses del año que se están analizando. Para los meses de mayor consumo de energía (septiembre) se observa el mayor número de órdenes correctivas y para el mes de agosto se evidencia la menor atención de



órdenes correctivas, acompañada de una disminución en el consumo energético.



**Figura 5. Producción, consumo energético y órdenes de mantenimiento correctivo atendidas para el año en la empresa**  
Fuente: elaboración propia

De igual manera se trató la información de las dos Pymes adicionales en este estudio y aunque en estas habían registros de algunas acciones de mantenimiento preventivo, el correctivo predominaba en mayor porcentaje sobre este, en una relación 80% correctivo y 20% preventivo. En términos generales, analizando los datos obtenidos de las tres Pymes, se encontró que para una disminución de las acciones correctivas entre un 20% y 60% se encontraron disminuciones en el consumo de energía entre el 8% y 19%, para periodos con igual eficiencia energética (relación producción – consumo de energía) pero con órdenes de mantenimiento correctivo atendidas diferentes.

### 3. RESULTADOS

Se ha evidenciado la necesidad de establecer la relación URE – Mantenimiento para el logro de beneficios en la rentabilidad de las empresas y así obtener herramientas más sólidas que ayuden a justificar desde el punto de vista de la gestión del mantenimiento el aumento de la eficiencia energética. Para el caso en estudio se

utiliza la intensidad energética para describir la relación entre la energía utilizada y el servicio producido, la intensidad se utiliza para medir y evaluar la eficiencia (aunque son inversamente proporcionales): cuanto menos energía se utiliza para producir un servicio, mayor será la eficiencia, por lo que la disminución de la intensidad energética implica mayor eficiencia [10], ver la ecuación 1.

$$\text{Eficiencia energética} = \frac{\text{Producción}}{\text{Obtenida/Consumo de Energía}} \quad (1)$$

Así el aumento en la eficiencia energética que se promueve desde el Ministerio de Minas y Energía puede lograrse disminuyendo el consumo de energía para la obtención de una determinada cantidad de producción o en su defecto aumentar la producción sin un considerable aumento en la energía utilizada; y es acá donde la gestión del mantenimiento influye en los resultados obtenidos, porque a partir de esta se puede lograr la disponibilidad de los activos para la producción, la atención de órdenes correctivas en mayor cantidad sobre las órdenes preventivas genera mayores gastos ya sea por los afanes que implica la intervención pronta para el cumplimiento de la producción o por la disminución en la producción que el paro del activo genera, y dependiendo del estado del equipo se dará un mayor o menor consumo de energía; lo que en términos finales generará mayores o menores rendimientos económicos de la producción obtenida.

Para las empresas en estudio se obtuvieron los datos de eficiencia energética y se confrontan con las actividades de mantenimiento registradas para los mismos periodos analizados, en la tabla 4 se ilustran los datos de una de ellas.

Puede observarse como en los periodos de enero y febrero donde la eficiencia energética es la misma, es decir la relación producción y consumo energético tiene correlación válida (0,79), el número de órdenes de trabajo difiere, y efectivamente febrero reporta el mayor consumo de energía debido al incremento en los mantenimientos atendidos. Si se analizan los meses con igual eficiencia energética, marzo – mayo – junio – julio y octubre, se observa la relación entre el consumo energético en kWh y las OT de mantenimiento atendidas siendo el menor para junio y el mayor para octubre, con una diferencia entre las OT atendidas del 50% y registrándose el mayor consumo de energía en el mes de octubre, este con mayor cantidad de órdenes de mantenimiento correctivos registradas también. Para el mes de mayor eficiencia energética (3.1 – abril), cabe anotar su máxima producción de remaches, tornillos, arandelas y clavos (máquinas de menor consumo energético) y con un número de OT registradas por encima del promedio, lo que lo hace atípico frente al resto de los meses del año.

Este mismo tipo de análisis se hizo con los datos obtenidos de otras 2 Pymes, una perteneciente al sector del plástico y la otra al sector de materiales no ferrosos, encontrándose una disminución en el consumo de energía cuando se atendieron menos ordenes de mantenimiento correctivo.

**Tabla 3. Eficiencia energética y órdenes de mantenimiento para el año**

	<b>Eficiencia Energética</b>		<b>kWh</b>
<b>2014</b>	<b>kg/kWh</b>	<b>OT Mtto</b>	
ENE	2,7	247	82242,46
FEB	2,7	270	86967,06
MAR	2,6	248	94513,98
APR	3,1	309	97967,76
MAY	2,6	313	104614,62
JUN	2,6	222	101249,94

JUL	2,6	233	105346,89
AGO	2,5	288	106397,61
SEP	2,5	402	117280,35
OCT	2,6	353	109593,72
NOV	2,3	311	100504,47
DIC	2,2	238	73234,92

Fuente: elaboración propia

#### 4. CONCLUSIONES

- Al considerar la eficiencia energética como indicador de desempeño económico en las empresas, se debe considerar que afecta la producción o el consumo energético desde el mantenimiento. Esto debido que no debe apuntarse solo al aumento de este indicador sin considerar a que costo se está logrando, si este aumento está acompañado de menores intervenciones correctivas se está favoreciendo la rentabilidad del periodo en evaluación, pero, si por el contrario este aumento en la eficiencia energética está acompañado de mayores correctivos realizados se está logrando la producción del periodo pero a mayores costos afectando así la rentabilidad respectiva.
- Con la información obtenida y analizada de las tres Pymes se determinaron ahorros en el consumo de energía entre 8% y 19% con la disminución de acciones correctivas entre un 20% y 58% respectivamente.
- Es necesario caracterizar más Pymes para determinar si lo encontrado en estos casos estudio se da de igual manera y poder de este modo asegurar como el mantenimiento correctivo genera disminución en la eficiencia energética en una compañía y por ende afecta su productividad y competitividad en el medio.

## AGRADECIMIENTOS

Ingeniero Juan Carlos Orrego, director de este trabajo de investigación, docente de la Universidad de Antioquia. Ingeniero Carlos Acevedo, asesor de este trabajo de investigación, docente de la Institución Universitaria ITM. Coordinadores de producción, mantenimiento y financieros de las tres Pymes en estudio de la ciudad de Medellín.

## REFERENCIAS

- [1] Prias, Omar, “Programa de Uso Racional y eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales – PROURE. Plan de acción 2010 – 2015”. Ministerio de Minas y Energía Republica de Colombia, Bogotá, 2010.
- [2] Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia, Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, “Plan energético nacional 2006-2025 Contexto y Estrategias”, 2007.
- [3] Rozas Balbotin, P. (marzo de 2002). Gestión Pública - Biblioteca OLADE. Recuperado el julio de 2016, de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00270.pdf>
- [4] Orrego barrera, Juan Carlos, “Determinación del potencial de ahorro energético en pymes del sector manufacturero en el Valle del Aburrá basado en la aplicación de estrategias de mantenimiento,” Instituto Tecnológico Metropolitano, 2011.
- [5] Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, “Análisis de las principales características de las empresas de Antioquia” RAED, revista antioqueña de economía y desarrollo. Edición No. 2 , diciembre de 2011, pp 6 – 25.
- [6] Piotrowski, J. (2007). Shaft alignment handbook. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- [7] Sullivan G. P et al, “Operations & Maintenance. Best Practices. A guie to achieving operational efficiency”. Prepared by Pacific Northwest National Laboratory for the Federal Energy Management Program U.S. Department of Energy, 2004.
- [8] Arenas, Ismael. “Estado Del Mantenimiento en Colombia” En: XI Congreso Internacional de Mantenimiento, Bogotá, 2009.
- [9] ACIEM. (2015). Diagnóstico del Mantenimiento en Colombia 2015: Estudio ACIEM Cundinamarca. Recuperado el Diciembre de 2016, de

<http://www.aciem.org/home/index.php/prensa/noticias-aciem/23-aciem/eventos/17244-estudio-aciem-cundinamarca-diagnostico-del-mantenimiento-en-colombia-2015>

- [10] Chejne Janna, F. e. (2007). *Análisis energético industrial del Valle de Aburrá*. Medellín: Area Metropolitana del Valle de Aburrá.
- [11] Tavares, L. (2000). *Administración moderna de mantenimiento*. Rio de Janeiro: Novo Polo Publicacoes
- [12] Taylor, J. W. (1995). Recuperado el junio de 2016, de <http://machineryhealthcare.com/documents/CanaPlannedMaintenanceSystemreduce.pdf>
- [13] Sevilleja Aceituno, Diego, “Eficiencia energética en el sector industrial”, Universidad Carlos III de Madrid, 2011.

**María Isabel Ardila Marín**, Ingeniera mecánica, candidata a Magíster en Gestión Energética Industrial, Docente de Mecánica y afines, Facultad de Ingenierías. Institución Universitaria Pascual Bravo. (Teléfonos: 314 826 23 16, 448 05 20 ext 1283, 343 88 26. Mail: [isabel.ardila@pascualbravo.edu.co](mailto:isabel.ardila@pascualbravo.edu.co))

**Juan Carlos Orrego Barrera**, Ingeniero mecánico, Magíster en Gestión Energética Industrial, Director Mantonline.

**Carlos Alberto Acevedo Álvarez**, Ingeniero Mecánico, Magíster en Ingeniería, Docente Departamento de Mecatrónica & Electromecánica, Facultad de Ingenierías. Instituto Tecnológico Metropolitano.