

## **El reemplazo de equipos mineros: un enfoque desde el rendimiento y los servicios técnicos de la contratación**

María Isabel García-De la Cruz  
Mayda Ulloa-Carcassés  
Orlando Belete-Fuentes

### **Resumen**

En la minería del níquel en Cuba el remplazo de equipos de arranque, carga y transporte no obedece a un análisis que con base en la experiencia de las negociaciones de adquisición, evalúe los aspectos técnicos, económicos y de servicios. Se realizó una investigación documental cualitativa con el propósito de indagar cómo influye el rendimiento en el reemplazo de los equipos mineros, y cómo el primero es afectado por los servicios técnicos de la contratación. Se consultaron 59 materiales bibliográficos que abordan el tema del reemplazo (libros, artículos tesis doctorales, tesis de maestría, metodologías, memorias de congresos y circulares) publicados en el periodo de 1954 a 2011. Se concluye que el concepto de servicios técnicos se restringe a la reparación y al mantenimiento y no incluye otros elementos de la contratación; tampoco se reportan modelos de reemplazo que vinculen el rendimiento con los servicios técnicos de la contratación.

### **Palabras clave**

Rendimiento; servicios técnicos; contratación; reemplazo, equipos mineros.

## **Mining equipment replacement in the nickel mining industry: An approach to productivity and contract services**

### **Abstract**

The mining industry's performance ratio largely depends on the efficient operation of its mining equipment. Noncompliance with the terms of service contract results in speeding up the deterioration of the equipment and thus the need of their replacement. The replacement of the equipment in the Cuban nickel mining is not carried out based on the assessment of the equipment operating condition, economic and service aspects in addition to the experience gained from the negotiations conducted during the purchase of the equipment. A qualitative documentary investigation was conducted with the objective to identify the extent of the impact on production of mining equipment replacements and of the contract service. A total of 59 bibliographical materials on replacement-related issues (books, articles, Ph.D theses, master's theses, congressional memoirs and circular letters) issued during 1954 through 2011 were reviewed. It was found that technical services include exclusively repairs and maintenance; thus excluding other key contractual aspects. There is no indication that the increase in the productivity of the replaced designs is associated with the contract services performed.

### **Keywords**

productivity; technical services; contract; replacement; mining equipment.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria minera constituye un renglón fundamental en la economía cubana e involucra un alto nivel de uso de equipos pesados. En general, los equipos mineros operan 24 horas al día, durante toda la semana, de modo que una falla en ellos trae consecuencias graves a la producción y cualquier ineficiencia se refleja en elevados costos de operación. Por lo tanto, contar con equipos de alta tecnología de diseño, en buen estado técnico, y con un adecuado servicio técnico, es la clave para una explotación minera eficiente.

En Cuba el reemplazo de los equipos mineros está estrechamente vinculado a su depreciación, es decir, a la disminución que experimenta su valor de adquisición durante su explotación. La Circular AE-358 del año 2008 plantea los porcentajes de depreciación por categorías de equipos. Para los equipos de transporte de masa minera, incluidos en el código número seis "Equipos de Transporte Terrestres y otros", se establece una tasa de descuento de un 20 % y para los de arranque y carga, en el código número cuatro "Máquinas y equipos técnicos productivos", un 6 %, aplicándose el Método de Línea Recta (MLR), que consiste en la desvalorización del equipo en porciones o partidas iguales a lo largo de su vida útil.

El MRL tiene la desventaja de que la depreciación es constante y presupone que el equipo se desgasta por igual durante cada período contable, considerándose la depreciación como función del tiempo y no del uso. Este método es factible para estimar el costo de operación en toda la vida útil del equipo, pues los costos de reparación son menores al inicio de la vida útil y mayores al final, lo inverso a lo que ocurre en la depreciación. Este fenómeno crea una especie de compensación entre ambos costos y, por tanto, la desventaja anterior carece de importancia práctica en el tiempo. También se justifica su uso cuando la obsolescencia progresiva es la causa principal de una vida útil limitada. Para todas las líneas de equipos empleados en la industria cubana del níquel la vida útil es menor que la establecida en la Circular AE-358.

El Grupo Empresarial Cubaníquel, para garantizar la adquisición de los equipos mineros, ha incrementado la modalidad de contratos de arrendamiento (leasing), con vigencia entre tres y cinco años. La primera, sugerida por los proveedores, tiene tanto para el cliente como para el arrendador las ventajas siguientes:

1. Los equipos se reponen antes de capitalizarlos, es decir, antes de la reparación capital, después de las 18 000 horas, en dependencia del equipo y del agregado a reparar o reemplazar.

2. Los equipos se reemplazan con mejor estado técnico, dándole la oportunidad al propietario (arrendador) de realizar contratos con otras empresas que adquieran equipos de uso.
3. Extensión de la vida útil de los equipos.
4. Garantía de inventario de piezas de rápido desgaste para el periodo de arriendo.
5. La supervisión técnica del fabricante y del proveedor de servicios técnicos durante el periodo de arriendo.
6. Los riesgos por futuras reparaciones del equipamiento, que pudieran ser costosas, son asumidos por el arrendador y el gasto se divide entre los 36 meses del arrendamiento.
7. En caso de que los equipos no garanticen la disponibilidad por tecnología de diseño es responsabilidad del arrendador el cambio de los mismos.
8. La cuota a pagar se mantiene invariable, aún cuando el arrendador incurra en sobregastos.

La opción con vigencia de cinco años fue sugerida por especialistas del grupo empresarial para alargar el tiempo de cambio de los equipos y el ahorro de presupuesto a largo plazo, sin un previo análisis para la implementación de esta opción. Lo anterior ratifica que no existe un procedimiento para efectuar el reemplazo, y que este depende de la posibilidad de financiamiento. Además, no se dispone de la planificación estratégica que defina el tiempo óptimo para ejecutar el reemplazo, razón por lo que esta industria enfrenta el problema de la renovación y modernización de sus equipos.

Por lo antes expuesto se realizó una investigación documental cualitativa con el propósito de indagar cómo influye el rendimiento en el reemplazo de los equipos mineros y cómo el primero es afectado por los servicios técnicos de la contratación.

## **2. METODOLOGÍA**

Para la investigación se consultó un total de 59 materiales bibliográficos, contenidos en libros, artículos de las revistas científicas *Ciencia y Técnica*, de Colombia; *Industria Minera*, de Rusia; *Minería Chilena*, *Tecnología Minera*, de Perú; así como tesis doctorales, de maestría, metodologías, memorias de congresos y circulares que abarcan el periodo desde el año 1954 hasta el 2011.

La revisión bibliográfica se orientó en dos direcciones fundamentales, la información relacionada con el enfoque teórico y metodológico del reemplazo de equipo y los trabajos que sobre el tema, desde el punto de vista técnico y práctico, se han llevado a cabo.

### 2.1. Procedimiento

El procedimiento aplicado se desarrolló siguiendo las fases propuestas por Hoyos (2000): la fase preparatoria, para reconocer los elementos teóricos que sustentan el proceso investigativo, e identificar y contextualizar el objeto de estudio; la fase descriptiva, para extraer los datos pertinentes de las unidades de análisis y someterlos al proceso de revisión, reseña y descripción; la fase interpretativa, por núcleo temático, para ampliar el horizonte de estudio por temas de análisis y proporcionar informaciones nuevas integrativas, en tanto trasciende lo meramente descriptivo que conduce al planteamiento correcto de hipótesis o afirmaciones útiles para la construcción teórica; y la fase de construcción teórica global que comprendió una revisión de conjunto con el fin de formalizar el estado actual del conocimiento de manera global.

Uno de los problemas de más actualidad en materia de inversiones es lo relativo al momento en que deben renovarse los equipos, teniendo en cuenta el deterioro y obsolescencia en el tiempo, circunstancias que los colocan en un plano de "inferioridad de servicio", con respecto a otros equipos nuevos que respondan a los mismos requerimientos con los últimos adelantos de la ciencia y la técnica.

Elegir racionalmente una inversión equivale a comparar el costo de la maquinaria que se proyecta comprar y los gastos ulteriores de explotación con los resultados económicos que este nuevo medio de producción permitirá obtener durante un cierto número de años.

Cada vez que se adquiere un nuevo equipo es preciso pagarlo en el acto o en tres plazos (firma del contrato, aceptación de los documentos de embarque y acto de puesta en marcha) y a través de la amortización se establece un fondo que permite reponerlo cuando cese su vida útil. Esta es la razón por la cual el capital inmovilizado debe amortizarse después de cierto número de años de servicio. Como es lógico, la anualidad destinada al fondo de reposición que recoge la cantidad dedicada a la amortización y la destinada al pago de intereses por el capital inmovilizado, disminuyen de año en año.

Es así que se tienen dos factores que se mueven en sentido contrario: la inferioridad de servicio, que aumenta de año en año, y las cargas de capital, que disminuyen progresivamente.

Para encontrar solución a este problema han surgido diferentes enfoques que, a través de modelos, tratan de establecer el momento óptimo del reemplazo, y que se han abordado desde distintas

perspectivas y bajo diferentes ambientes, algunos con mayor rigor práctico-teórico que otros. Los autores de esta investigación los han subdividido como sigue:

1. Modelos que utilizan la comparación antiguo-nuevo: determinan el momento de reemplazo a través de un balance entre el equipo en uso y el equipo nuevo, basado en las ventajas económicas de operar uno u otro. La comparación se realiza con datos estimados para el equipo nuevo y con la data histórica de comportamiento del equipo en uso.
2. Modelos de optimización: tratan de encontrar un valor óptimo para una función predeterminada, ya sea el mínimo, para funciones de costos o gastos asociados con la utilización del equipo, o el máximo, para funciones de rentabilidad o utilidad esperada por la operación del equipo.
3. Modelos límites: buscan encontrar el instante de tiempo en el cual se alcanza un parámetro previamente establecido, estos son: modelo de renovación de equipos en grupo y modelos de costos acumulados de mantenimiento, los cuales son resueltos a través de programación dinámica.

Lo que se pretende es establecer un punto de partida que permita determinar el reemplazo óptimo de los equipos mineros a partir de la relación entre el rendimiento y el cumplimiento de los Servicios Técnicos de la Contratación (STC), para cada período y sistema de explotación en empresas mineras. Se parte de dos realidades:

1. El comportamiento, por periodo de tiempo, del rendimiento de los equipos mineros en la explotación de los yacimientos lateríticos de la empresa Ernesto Che Guevara.
2. La influencia del cumplimiento de los STC en el comportamiento del rendimiento de los equipos para cada periodo.

Ambas realidades están relacionadas con el estado técnico, en los diferentes períodos, y el costo de operación que permiten definir el tiempo en que los equipos mineros son útiles en las condiciones de operación a que son sometidos.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Investigaciones sobre el reemplazo de equipos mineros**

El modelo Machinery Allied Products Institute (MAPI), diseñado por Terborgh (1956), es el primero encontrado en el grupo de los modelos que utilizan comparación antiguo-nuevo, siendo la base de muchos otros. Su objetivo es la correcta valoración de sustituir o no la maquinaria, comparando la suma de los costos totales de la inferioridad operativa y el capital para la máquina actual y aquellos

correspondientes a una máquina nueva, con inferioridad operativa. Este modelo se basa en el método del mínimo adverso, que permite escoger entre dos disyuntivas: con exceso de cargas de capital y menos inferioridad de servicio o con menos cargas de capital y mayor inferioridad de servicio. Las principales críticas a este método (Mey 1956 y Reul 1957) estiman que la constancia del mínimo adverso de los equipos futuros y el crecimiento lineal de la inferioridad de servicio no reflejan la realidad. Mey señala que el gradiente de inferioridad es difícil de calcular, además dice que puede concebirse, para un equipo determinado, que la inferioridad de servicio se mida con respecto a los gastos complementarios y a la cantidad o a la calidad de las prestaciones que aporta.

Por su parte, Peumans (1966), acerca de la teoría del método MAPI escribe:

La experiencia del pasado permite hacer previsiones en cuanto a la influencia del factor interno, el deterioro físico y sobre los gastos complementarios, cantidad y calidad de las prestaciones. En cuanto al factor interno, el abandono del material por falta de aplicación práctica, nada puede preverse con certeza. En todo caso, es poco probable que la inferioridad de servicio se acumule linealmente. En efecto, cuando el equipo envejece, el aumento de los gastos complementarios es generalmente progresivo y, además, puede suceder que la producción disminuya en cantidad y en valor.

Terborgh, consciente de estas dificultades, en 1958 modifica su método. Las principales modificaciones se refieren a la hipótesis relativa al crecimiento lineal de la inferioridad de servicio. Se mantiene la constancia del envejecimiento económico, pero se admite que el aumento de los gastos complementarios, como consecuencia del envejecimiento técnico no es necesariamente constante. Conserva la hipótesis referente a la constancia de los mínimos adversos de los equipos futuros, pero la formulación es distinta al suponer que la producción total de los equipos a sustituir en el futuro será la misma. Reconoce que la noción de los mínimos adversos es un criterio de difícil manejo cuando se trata de determinar la prioridad de inversiones.

García (1969) plantea que el modelo propuesto por Terborgh tiene como objetivo la correcta valoración de sustituir o no la maquinaria, comparando la suma de los costos totales de la inferioridad operativa y el capital para la máquina actual y aquellos correspondientes a una máquina nueva, con inferioridad operativa. Hace referencia a la diferencia de prestación de servicio de una máquina respecto a otra, y considera este método como la base para el desarrollo de otros modelos que le sucedieron.

Al analizar el método MAPI, Gutiérrez (1967) señala que uno de los problemas más vivos de hoy, en materia de inversiones, es el relativo al momento en que debe renovarse una máquina, teniendo en cuenta el deterioro y la falta de actualidad que sufre al cabo del tiempo, circunstancias que la colocan en un plano de inferioridad de servicio, con respecto a otra nueva que responda al mismo objeto y perfeccionada con los últimos inventos. Si la máquina pudiera sustituirse todos los años, o con más frecuencia aún, el equipo estaría puesto al día de modo casi continuo. Pero esta tesis de aceleración con la renovación de equipos es, naturalmente, imposible por falta de capitales y por no encontrar, en cada momento, el material mejor para realizar la sustitución. Además, afirma que cada vez que se adquiere una nueva máquina es preciso pagarla en el acto y, en consecuencia, se impone la constitución de un fondo dinerario que permita reponerla cuando la necesidad se haga sentir.

Esta es la razón por la cual el capital inmovilizado debe ser amortizado después de un cierto número de años de servicio. Gutiérrez puntualiza, además, que se está frente a dos factores que se mueven en sentido contrario: inferioridad de servicio, que aumenta de año en año y cargas de capital, que disminuyen progresivamente, por lo que la política de sustitución más adecuada será aquella en que la consideración simultánea de estos dos factores conduzca a un resultado total mínimo. Basado en esto, realiza un análisis del método MAPI al cual considera como una herramienta óptima para la definición del reemplazo.

Churchman, Ackoff y Arnoff (1971) exponen un modelo donde, en el cálculo del período que representa la vida útil óptima de un equipo nuevo, se minimiza el Valor Actual Neto (VAN) de sus costos de mantenimiento. Este VAN sirve como parámetro para determinar el momento de reemplazo del equipo en uso, lo cual sucede cuando sus costos de operación y mantenimiento superan el VAN calculado.

Prawda (1981) y Sasieni, Yaspan y Friedman (1982) toman este principio y formulan un modelo del VAN, que se diferencia básicamente en su formulación matemática y en la información que usa.

Raibman et al. (1980) consideran que el plazo óptimo de servicio de las máquinas es aquel, en el que el costo de la reparación corriente se aproxima al costo de una máquina nueva. Esta hipótesis tiene una demostración lógica que consiste en que es más ventajoso gastar los recursos en la adquisición de una nueva, que en la reparación de una máquina vieja. Esto no se puede considerar puramente científico ya

que no se analiza la eficacia de la utilización de los recursos para la adquisición y el mantenimiento de la capacidad de trabajo de la máquina vieja.

En 1994, Walker da a conocer un software creado en Visual Basic con plataforma Windows, en el cual es posible graficar la vida económica de la maquinaria, y sobre esta base se hace una comparación con una maquinaria nueva y se toma la decisión de reemplazo. La vida económica se grafica en función del tiempo, teniendo en cuenta los costos de operación y el valor de liquidación. La novedad del aporte radica en la inclusión del análisis de sensibilidad en la toma de la decisión de reemplazo, con lo que el autor se convierte en el primero que hace explícito este análisis en el estudio de reemplazo.

Por su parte, Gómez (2001) define que el análisis de reemplazo sirve para averiguar si un equipo está operando de manera económica o si los costos de operación pueden disminuirse adquiriendo un nuevo equipo. Además, plantea que mediante este análisis se puede averiguar si el equipo actual debe ser reemplazado de inmediato o es mejor esperar unos años, antes de cambiarlo. Al mismo tiempo plantea que un plan de reemplazo de activos físicos es de vital importancia en todo proceso económico, porque un reemplazo apresurado causa una disminución de liquidez y un reemplazo tardío causa pérdida; esto ocurre por los aumentos de costo de operación y mantenimiento, por lo tanto, debe establecerse el momento oportuno de reemplazo, a fin de obtener las mayores ventajas económicas. Este autor esboza que un activo físico debe ser reemplazado cuando padece de insuficiencia, alto costo de mantenimiento y obsolescencia y recomienda que en el análisis es necesario aplicar conceptos de matemáticas financieras, siendo indispensable determinar: el horizonte de la planeación que mientras más pequeño sea, más exacto resulta el análisis y la disponibilidad de capital para realizar la compra de los activos según lo planeado y lo proyectado. El artículo incluye un ejemplo de un modelo de comparación antiguo–nuevo que tiene en cuenta las estimaciones sobre el valor comercial, valor de salvamento y vida útil del activo.

Preciado (2001) propone un modelo económico para la toma de decisiones en reemplazo de equipo de acarreo en una mina a cielo abierto, planteando que una norma común para determinar si es conveniente el reemplazo es evaluarlo económicamente, seleccionando los parámetros técnicos-económicos de comparación de los resultados que se obtengan. El modelo permite integrar y procesar la información necesaria y es la base

de comparación para que los directivos tomen la decisión de reemplazar o continuar con sus equipos de acarreo de material.

Por otra parte, Viveros, González y Rodríguez (2004) consideran que el artículo publicado por Walker, en 1994, que utiliza la sensibilidad en la toma de decisión de reemplazo, es insuficiente en la explicación de la metodología utilizada y que solo se hace referencia a la posibilidad que brinda el programa de apreciar comportamientos alternativos de la gráfica de vida económica y, con base en estos, observar la variabilidad de la curva y realizar análisis de sensibilidad.

Xodo & Ileska (2006) y Espinosa (2009) sugieren en su análisis la política óptima que debe seguirse en lo relacionado a elementos que se desgastan, que pierden eficiencia o que están sujetos a fallas o muerte, en dos grupos de modelos:

1. Modelos de reemplazo de elementos que se desgastan, comprendiendo aquellos que pierden eficiencia frente a uno de mejor diseño técnico, es decir, el problema consiste en un balance entre el costo derivado de la adquisición de un nuevo equipo y el costo de mantenimiento de la eficiencia del equipo existente o del costo originado por la pérdida de su eficiencia.
2. Modelos de elementos que están sujetos a falla o muerte y establecen las reglas de reemplazo, en función del interés:
  - Con interés, se fija como óptima la política que minimice el valor actual de todos los costos futuros que estén en relación con las diversas políticas de reemplazo proyectadas, designando como valor actual al capital necesario, en el momento en que se realiza la decisión, para que, aplicado al interés compuesto con una tasa especificada, permita realizar la inversión necesaria para el mantenimiento dentro de un plazo perfectamente fijado. Si no se tiene en cuenta el valor del dinero a lo largo del tiempo, se usa el costo anual promedio, para determinar el período en el cual es conveniente reemplazar.
  - Sin interés, se plantean dos reglas: la primera, si la disminución del valor de reventa, más los costos de operación y mantenimiento, en el próximo período, es mayor que el costo total promedio en el período actual, es conveniente reemplazar. La segunda, cuando el costo total promedio de un período es mayor que la disminución del valor de reventa más los gastos de operación y mantenimiento del próximo período, no conviene reemplazar.

El diseño de Xodo & Ileska (2006) se aplica en equipos relacionados con la electrónica, electricidad y automática; el de Espinosa (2009), para equipos industriales.

Los modelos de optimización se inician con el modelo de Selivanov (1972), útil para la determinar los plazos de servicio de las máquinas, el cual propone una solución analítica general al problema, encontrando un equivalente monetario a los indicios técnicos y tecnológicos con los cuales se pretende agrupar toda inversión de dinero o pérdida de oportunidad que se genera al utilizar un equipo. Sobre esta base, se decide reemplazar en el momento en que se minimice el valor de los gastos y pérdidas específicas ligados con la utilización del equipo y referidos a la unidad de trabajo cumplido. El autor, a través del modelo, concuerda que el análisis científico de los problemas de renovación, además de contribuir a un mejor conocimiento, previsión de los costos y las necesidades de capital, busca proveer información referente al momento oportuno para llevar a cabo el reemplazo; momento en el cual el equipo deja de prestar un trabajo eficiente y económico y sugiere que cada sistema productivo tome decisiones adecuadas en cuanto a la sustitución de sus equipos.

Aduvirre (1990) aplica un modelo que permite calcular la evolución de la rentabilidad económica de un equipo basado en el estudio de la variación de las horas de paradas e incrementos de los costos. El plantea dos aspectos principales en la vida económica de la maquinaria utilizada en explotación a cielo abierto: el mantenimiento y su reemplazo posterior, debido al deterioro físico que experimentan con el tiempo en el desarrollo de la minería. El autor considera que el mantenimiento tiene gran importancia por el volumen de capital invertido en maquinaria y su influencia sobre los costos de explotación, por ello, el interés en desarrollar una teoría general del mantenimiento en la mina, con el propósito de implementar el mantenimiento predicativo como una actividad complementaria de conservación de equipos. Además, plantea que una conveniente formulación del proceso de reposición de una máquina minera juega un papel económico muy importante en la rentabilidad de la explotación minera a cielo abierto y que a menudo se buscan soluciones parciales a este problema mediante modelos de programación lineal y métodos estadísticos basados en la maximización de beneficios o la minimización de costos.

Las causas del envejecimiento de los equipos y sus fallas son abordadas por Espinoza (1990), explica que aunque la misión del mantenimiento es la de conservar los equipos en la mejor forma

posible, muchas fuerzas se oponen a este empeño, de tal modo que tarde o temprano el equipo pierde por completo las condiciones técnicas que lo habilitan para prestar determinado servicio. Este autor propone en su modelo que el reemplazo de un equipo debe surgir del cruce histórico del mantenimiento y la pérdida del valor del equipo, considerando factores de ocurrencia propia de la situación específica del equipo, agrupados en: obsolescencia, inadecuación e ineficiencia.

Mira (1994) expone un modelo con un criterio de optimización para determinar a priori la vida de un equipo, basado en el cálculo del número de años de uso que conduce a un costo anual equivalente mínimo del equipo, buscando tomar decisiones en un horizonte de planeación amplio, para el que se requiere más de una renovación para obtener una política de reposición global u óptima. Razonable cuando se desconocen las opciones futuras, óptima en relación con la información disponible.

Los equipos industriales, durante los periodos de utilización, sufren desgaste en sus diversas partes y mecanismos, por lo cual es necesario repararlos o sustituirlos para que el equipo pueda seguir trabajando. Cantillo (1998) reconoce que con el transcurso del tiempo es tal el deterioro de una máquina, que en vez de constituir para el propietario un bien de producción, se convierte en un gravamen. Por otra parte, con el incremento de las averías aumentan los tiempos improductivos y llegan incluso a afectar la productividad de otros equipos que trabajan conjuntamente con ellos. Además, con el tiempo, el equipo se va volviendo obsoleto, por lo cual su propietario queda en desventaja frente a otros competidores que poseen equipos más modernos y eficientes. El autor crea el modelo de los costos promedios acumulados propuestos que consiste en registrar anualmente los costos fijos, variables y los costos por maquinaria parada y efectuar el reemplazo cuando el costo medio anual acumulado sea mínimo, equivalente al óptimo en la toma de decisión de reemplazo.

Ray (1999) crea un método destinado a facilitar el reemplazo óptimo de equipos, cuyo único objetivo aparente es poner en evidencia ciertas consideraciones sin las cuales cualquier decisión tomada carece de validez práctica. El autor es claro, al poner en evidencia la irrealidad de un modelo planteado sobre un ambiente que no tiene en cuenta la inflación, en el cual, probablemente, las variables de decisión pueden estar ilustrando una falsa realidad y, por tanto, facilitando la toma de decisiones erradas. También anota la inutilidad de una decisión de reemplazo tomada sobre la incertidumbre de los recursos disponibles para la adquisición del nuevo equipo, por lo que recomienda incluir en

el análisis de reemplazo un presupuesto de recursos y una conciente prioridad de los mismos.

Autores como Abarca & Alvarado (2000) proponen un método de cálculo de Vida Útil Técnica del equipo (VUT), entendida como el período de tiempo durante el cual un determinado bien o componente presta el servicio para el cual fue diseñado, manteniendo su integridad estructural. El procedimiento para calcular la VUT del equipo consiste en efectuar una inspección del bien en estudio, determinar las cargas de servicio que actúan sobre este, identificar el régimen de trabajo y posteriormente efectuar cálculos y determinaciones sobre el proceso de envejecimiento controlado por algún fenómeno cuya evolución temporal es conocida.

Poveda (2002, 2003) formula un modelo matemático que establece aspectos de la operación del equipo, de tipo cuantitativo, en forma de funciones algebraicas de variables reales, evalúa las condiciones de operación del equipo y busca el período de tiempo en que se obtiene la mayor rentabilidad promedio anual. Divide la investigación en dos etapas: la primera para determinar el problema y la segunda para establecer el modelo matemático.

Boltini (2008) plantea que, prediciendo cuándo las fallas probablemente ocurran, se puede determinar el mejor momento para el mantenimiento preventivo (Reemplazo Preventivo) y las políticas de mantenimiento relacionadas con el periodo óptimo para operar hasta la falla o inspección. Además, define al modelo matemático, como una de las principales herramientas en este avance científico hacia la optimización de las decisiones de Gestión. En la aplicación de técnicas cuantitativas de optimización del mantenimiento, el tipo de modelo usado es frecuentemente un modelo simbólico donde los componentes del sistema están representados por símbolos y la relación de estos componentes está representada por ecuaciones matemáticas.

En los modelos límites se cita a Figuera et al. (1979), con la propuesta de un modelo que plantea la renovación de equipos en grupo, teniendo en cuenta el momento en que los mismos llegan a su límite de rentabilidad económica. Estos autores ilustran que los equipos industriales se deben retirar del servicio debido a dos grupos de causas:

1. Razones técnicas: destrucción física e imposibilidad de seguir prestando un nivel de servicio adecuado.
2. Razones económicas: estas comprometen la competitividad del equipo. Con el tiempo se produce una degradación del rendimiento económico por necesidad de más mantenimiento, aumento de

consumo de energía, incremento en productos defectuosos, llamándose a esto envejecimiento, el cual se evidencia cuando es preciso gastar cada vez más, obteniendo una disponibilidad y calidad cada vez menores y la obsolescencia por la evolución del contexto socioeconómico y especialmente el progreso tecnológico en el cual se desarrollan las actividades de la empresa.

Además, plantean que un equipo industrial se debe retirar del servicio por obsolescencia cuando se agotan las materias primas que procesa o aparecen otras a partir de las cuales se pueden obtener mejores condiciones; cuando los productos que manufactura caen en desuso o cuando aparecen equipos más eficientes.

Otro modelo límite es el propuesto por Beichelt (2001) y está soportado sobre los costos acumulados de mantenimiento. Este permite valorar el tiempo en que los equipos pierden su rentabilidad económica y solo tiene en cuenta los mantenimientos. Al igual que el modelo de Figuera, este es obtenido a través de programación dinámica.

### **3.2. Investigación de operaciones**

La investigación de operaciones garantiza obtener la solución óptima para un problema de decisión con la restricción de recursos limitados y permite utilizar herramientas para tomar decisión a la hora de resolver un problema. Los modelos se emplean según sea la necesidad. Para llevar a cabo el estudio de investigación de operaciones es necesario cumplir con una serie de etapas o fases: definición del problema, construcción del modelo, solución del modelo, validación del modelo e implantación de los resultados finales.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante estudiar el impacto que pueden tener las herramientas de la investigación de operaciones en el momento óptimo de reemplazo de un equipo minero. De la bibliografía reseñada anteriormente han usado esta disciplina en el diseño de sus modelos, las herramientas de optimización de redes (Prawda 1981), la programación dinámica (Figuera et al. 1979, Hartman 2001 y Beichelt 2001). Usando un enfoque similar, en el cual se plantea la necesidad de tomar decisiones respecto a periodos de tiempo que representan las etapas constitutivas del horizonte de planeación, se plantean criterios típicamente económicos que pueden cambiar de enfoque según el decidor (costos/gastos o utilidad), incluyendo solo variables técnicas en los casos en que se tienen en cuenta la probabilidad de ocurrencia de fallo.

Además, Hiller & Lieberme (2001) utilizan de las investigaciones de operaciones la herramienta de proceso de decisión markovianos, planteando que al estudiar la aplicación de la programación lineal como herramienta fundamental, se encuentra la imposibilidad de lograr un acercamiento adecuado a la realidad mediante la formulación del modelo; ya que las condicionales que deben ser cumplidas, esencialmente el de linealidad, impiden realizar una formulación en la que se describa la realidad en la que opera el equipo estudiado.

Marrero & Abreu (2001) definen la simulación como una de las técnicas más potentes en el estudio de sistemas y que se puede definir básicamente como una técnica que trata de imitar el comportamiento de los diferentes fenómenos en una realidad artificial. Como herramienta de la investigación operativa se considera potente para la definición del reemplazo de equipos pero tiene, para su aplicación en el caso de algunas empresas, la desventaja de la exactitud en los análisis de campo requeridos y deficiente información histórica para realizar el estudio del comportamiento de las variables necesarias para describir el sistema.

Viveros et al. (2004) definen la investigación de operaciones como la disciplina que utiliza técnicas analíticas avanzadas para tomar decisiones sólidas y resolver problemas complejos y que usa un enfoque similar a la manera en que se lleva a cabo la investigación en los campos científicos establecidos. Proceso que posee una característica especial que la coloca en un lugar privilegiado dentro del conjunto de herramientas disponibles para la toma de decisiones por su amplio punto de vista, generalmente de tipo organizacional, con lo cual intenta resolver los conflictos de intereses entre los componentes de la organización, optimizando matemáticamente el beneficio de las decisiones de forma que el resultado sea el mejor posible para la organización completa. Además, plantean que en el problema de reemplazo, el análisis de decisiones puede ser utilizado para tomar decisiones inicialmente de corto plazo, logrando la inclusión de parámetros de comportamiento técnico; en ellas, el problema podría ser planteado teniendo en cuenta los estados de la naturaleza de fallo y funcionamiento, las acciones posibles de reemplazar o mantener y los pagos relacionados con la combinación de estas.

### **3.3. Ingeniería económica**

La ingeniería económica es una recopilación de técnicas matemáticas que simplifican las comparaciones económicas. Con estas técnicas se puede desarrollar un enfoque significativo y racional para evaluar los aspectos económicos de las diferentes alternativas empleadas en el logro de un

objetivo determinado por una organización, es decir, es una herramienta de ayuda para tomar decisiones mediante la cual se escogerá la opción más factible económicamente (Tarquin & Blanck 1978).

Taylor (1977) expone que el término «reemplazamiento» es tan amplio que casi todo el campo de la economía de ingeniería cae bajo él. El vocablo se utiliza con las implicaciones más amplias, por ejemplo, reemplazamiento no significa que se duplique el equipo al fin de su vida; tampoco implica una sustitución igual por igual. No es necesario ningún parecido entre el equipo actual y su sustituto. El reemplazo, en este sentido, tiene lugar incluso si un proceso manual es superado por una máquina o si un grupo de máquinas son desplazadas por otra máquina mayor. Esto puede comprenderse mejor si se observa que «reemplazar» es sinónimo de «desplazar». Así pues, reemplazar significa que un activo será desplazado por otro más económico.

Por otra parte, Thuesen et al. (1986) definen que al tomar decisiones sobre reemplazo se tienen dos opciones: la primera opción es mantener en operación, por un período adicional de tiempo, el equipo actual, adecuándolo con algunas reparaciones y cambios de sus componentes principales y la otra alternativa requiere de retirar inmediatamente el activo existente y subsecuentemente ser sustituido por otro. Además, plantean que dentro de las políticas establecidas por una empresa se debe contemplar un programa sólido de análisis de reemplazo, no llevarlo repercutiría en el éxito financiero de la misma. También puntualizan que los criterios para tomar la decisión deben implicar la existencia de algún índice, medida de equivalencia o base de comparación que resuma las diferencias significativas entre alternativas de inversión. Una base de comparación es un índice que contiene información específica sobre una serie de ingresos y de desembolsos que representan una oportunidad de inversión. Las bases de comparación más comunes son el valor presente, el valor anual, el valor futuro, la tasa interna de rendimiento y el período de recuperación de la inversión, producto de la adquisición de estos nuevos activos.

Blanck & Tarquin (1999) expresan que un procedimiento muy popular utilizado para considerar el desarrollo y selección de alternativas es el denominado «proceso de toma de decisiones». Los pasos habituales en el enfoque se presentan en: entender el problema y la meta; reunir información relevante; definir las soluciones alternativas; evaluar cada una de ellas; seleccionar la mejor opción utilizando algunos criterios; e implementar la solución y hacer seguimiento a los resultados. Estos

autores recomiendan la ingeniería económica como alternativa importante para la toma de decisiones.

El análisis de sensibilidad y su importancia, como el elemento de incertidumbre asociado a cualquier análisis económico proyectado al futuro se referencia por Baca (2000). El autor es claro al afirmar que en un proyecto individual el análisis de sensibilidad debe hacerse con respecto al parámetro más incierto. Este autor define, sobre bases similares, dos métodos formulados a través de ingeniería económica para determinar el momento óptimo de reemplazo: periodo óptimo de reemplazo; calcular el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) del equipo y seleccionar el número de años para el cual el costo es mínimo y confrontación antiguo-nuevo, es decir, se calcula el CAUE para el equipo antiguo y para el equipo nuevo y se toma la decisión de reemplazo frente a la confrontación de los datos; escogiendo el de menor CAUE.

#### **3.4. Servicios técnicos**

A nivel mundial las industrias de servicios mineros se encuentran en la búsqueda constante de tecnologías y técnicas de gestión que le permitan ser más eficientes y que una empresa situada en cualquier lugar del orbe sea capaz de retar a otra tradicional y firmemente establecida. Solo las empresas con capacidad de adaptarse de una manera fluida y rápida, tienen probabilidades de triunfar en los servicios técnicos.

Botín (1986) diseña un modelo de renovación y reparación preventiva de motores que permite valorar los efectos económicos de cada política de mantenimiento del motor sobre la economía, rendimiento y fiabilidad global del sistema de transporte en el cual operan. El modelo, además, permite resolver otros problemas igualmente importantes como son: la estimación de planes de inversión a mediano y largo plazo, la disponibilidad global del sistema, plan de reparación, tamaño de flota necesaria para cubrir el plan de producción y otros parámetros del sistema de transporte, incluyendo la estimación de su precisión y límites de variación. Este autor clasifica los diferentes tipos de averías en grupos, de acuerdo con su causa, y caracteriza mediante modelos matemáticos la fiabilidad, el mantenimiento y el costo de reparación asociados a estos grupos, estimándolos con la aplicación de las técnicas de simulación de tiempo.

Inicialmente en la adquisición de equipos para proyectos de explotación minera, junto con la flota, el cliente compraba un motor, una transmisión y otros componentes como repuesto; hoy las empresas que prestan

servicios a los equipos adquiridos por contratos de compras tienen los componentes disponibles, pero no asignados a cada cliente, usan las sinergias que le produce atender una cantidad importante de equipos similares. No mantienen personal para cambio de componentes en cada contrato, solo un equipo de servicios especializado en cambiar componentes que acude a donde sea necesario, esto baja el costo del servicio de mantenimiento.

Scott (2005) plantea que existen empresas que, a través de arrendamiento (leasing), ofrecen apoyo financiero y otras soluciones a los clientes. Además de equipos, repuestos o servicios de mantenimiento, preparan soluciones para que el cliente logre el menor costo por tonelada. Señala, además, que no se trata solo de tener el menor precio, la mayor productividad o el menor costo de mantenimiento, sino de ofrecer la solución que en conjunto den las mejores condiciones al cliente, para explotar la técnica adquirida. Por ello las empresas de servicios, no solo prevén financiar equipos, sino también diseñar, construir y financiar instalaciones de mantenimiento.

El leasing, en Rusia, según Agachanov (2010), es la mejor alternativa después de la crisis para las industrias, incluida la minera, ya que garantiza la explotación del bien arrendado solo con el pago de la renta mensual y que los servicios técnicos son ejecutados por las empresas financieras, además de la opción de eliminar gastos por reemplazamiento de equipos.

Rahutin (2010) muestra que los métodos existentes en los análisis matemáticos y técnicos para calcular el número necesario de piezas de repuesto no toman en cuenta los efectos de cambio de los parámetros de los elementos del funcionamiento hidráulico de las máquinas de la minería en diferentes condiciones.

#### **4. EL REEMPLAZO EN CUBA**

En Cuba son escasos los trabajos publicados sobre esta temática. De forma general se han realizado investigaciones relacionadas con reemplazo de equipos para la agricultura y el transporte de pasajeros y muy pocos abordan el equipamiento minero.

Bruzos et al (2005) evalúa los factores que influyen en la toma de decisiones para la política de remotorización del parque automotor del país. Considera que la remotorización de vehículos en Cuba se ha convertido en práctica común, existiendo diferentes talleres y empresas que se dedican a esta actividad. Sin embargo, en las evaluaciones realizadas del esquema establecido de remotorización se

ha observado una deficiencia marcada en los métodos y procesos utilizados para la adaptación de los motores en los vehículos, notándose consecuencias negativas en el proceso de explotación, por lo que proponen una metodología integral, que evalúa toda la cadena cinemática del vehículo; por último, se hace una evaluación beneficio-costo de la inversión realizada así como las posibilidades de servicio y rendimiento del vehículo con la adaptación. Esta metodología no se refiere a equipos automotores pesados, ni de arranque, carga y acarreo de material.

Curbeira (2002) destaca que los modelos matemáticos existentes no tienen en cuenta los ingresos para decidir el momento óptimo de la reposición de los equipos y que la programación lineal puede ser aplicada a problemas relacionados con la reposición y el mantenimiento para determinar el momento óptimo de reemplazo de los equipos. El autor, utilizando la programación lineal desde la nueva perspectiva de la modelación matemática, obtiene un modelo matemático teórico para la reposición y el mantenimiento que incluye los costos y los ingresos (dándose en función de las utilidades), en funciones continuas, discretas y como caso particular de un problema de programación lineal.

Bruzos et al. (2005) realizan una valoración comparativa de los vehículos que se explotan en Cuba, desde el punto de vista de las características técnicas y tecnológicas necesarias para las condiciones actuales y futuras, en cuanto a prestaciones, impacto medioambiental, de explotación y reparación. También dan valoraciones que desde el punto de vista económico ayudan a comprender la necesidad de emprender una política de reposición del parque automotor en la medida en que las condiciones del país lo permitan. Estos autores afirman que el nivel tecnológico del parque automotor de carga y pasaje que se explota en Cuba, fabricado en los países del antiguo campo socialista, es totalmente obsoleto en comparación con otros de reciente incorporación al servicio de transportación y lo demuestran de forma cuantitativa, sin embargo, no abordan el tiempo de reemplazo con la profundidad requerida.

En el año 2008 se elaboró un procedimiento (García, 2008) para el perfeccionamiento de la adquisición y explotación de los equipos mineros en los yacimientos de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara, aplicable a cualquier empresa, que incluye: clasificación de los contratos para la adquisición de equipos mineros, clasificación de los términos técnicos de la contratación, control y evaluación de los contratos, aprobación y evaluación de proveedores. El procedimiento permite evaluar

la proyección técnica de los equipos, dependiendo de la modalidad de contratación, clasifica dentro de los términos técnicos a los servicios técnicos de la contratación y su efecto a la disponibilidad técnica de los equipos mineros, sin llegar a definir la relación de estos con el reemplazo.

## 5. DISCUSIÓN

El modelo MAPI (Machinery Allied Products Institute) tiene como desventajas que no utiliza variables técnicas que pongan de manifiesto la eficiencia por año de operación, y en los diferentes sistemas de explotación solo se evalúa la eficiencia por el costo operacional y de mantenimiento. Constituye un aspecto importante el envejecimiento económico, por cuanto el aumento de los gastos complementarios es como consecuencia del envejecimiento técnico y no es necesariamente constante en todos los equipos a reemplazar.

Los modelos que continuaron la teoría del modelo MAPI, que utilizan la comparación antiguo-nuevo, tienen los siguientes aspectos negativos:

- La comparación de la máquina actual con una máquina nueva representa una falencia en este tipo de modelo ya que, en primer lugar, la selección del equipo nuevo debería estar sometida a un proceso de gestión tecnológica adecuado, lo cual implica disponer de los procesos de gestión para su identificación, evaluación y selección. Además, no tienen en cuenta lo que involucra inversión de recursos (tiempo y dinero).
- La comparación se realiza generalmente sobre datos a priori estimados por el responsable de tomar la decisión. Además, existe la incertidumbre en este tipo de modelo de que los datos para la comparación del equipo nuevo son ofrecidos por el fabricante o suministrador, que supone condiciones ideales para la operación, o el comportamiento de equipos similares, ignorándose los posibles errores de dichas predicciones.

La comparación antiguo-nuevo presenta ventajas; cuando hay escasez de información la decisión de reemplazo debe tomarse bajo análisis de costos supuestos y datos determinados según la experiencia del decidor.

Los modelos de optimización, generalmente, le dan un gran valor al servicio de mantenimiento, incluido sus gastos, pero no suman otros aspectos dentro de los servicios técnicos que son determinantes en la eficiencia de la operación de un equipo minero. Puede ser útil el modelo de Poveda, que tiene en cuenta aspectos de la operación del equipo de tipo cuantitativo, en forma de funciones algebraicas de variables reales, evalúa las condiciones de operación del equipo y busca el periodo de tiempo en que se obtiene la mayor rentabilidad promedio anual.

Los modelos límites son útiles para el análisis los aspectos técnicos y económicos que afectan la eficiencia de los equipos. Inicialmente se realiza separado y después se unen criterios para definir. Como deficiencia se señala que no evalúa todos los aspectos que tienen en cuenta los servicios técnicos de la contratación, que influyen en la eficiencia de la operación.

Los modelos que aplican técnicas de investigación operativa en el reemplazo no permiten incluir, de manera explícita, diferentes parámetros de relevancia en la toma de la decisión correcta de cuándo reemplazar.

Existen técnicas de investigación de operaciones que pueden ser aplicadas en la solución del problema de reemplazo de equipos y que hasta el momento no han sido utilizadas, estas son la programación no lineal, el análisis de decisiones y las técnicas multicriterio.

La técnica de multicriterio o multiobjetivo es la única herramienta de la investigación de operaciones que permite solucionar el problema de incompatibilidad entre variables de decisión que manejan diferentes unidades de medida, facilitando el uso de diferentes criterios, los cuales pueden ser ponderados según las preferencias del responsable que tomará la decisión, así mismo estos criterios pueden ser representados con funciones no lineales, lo que facilita la descripción del comportamiento real de un equipo.

La aplicación de la ingeniería económica en el proceso de toma de decisiones permite: definir o deducir el problema y el alcance, recopilar la base de datos e información relevante, evaluar las soluciones alternativas y seleccionar la mejor opción e implementarla y dar seguimiento a los resultados. Aunque permite evaluar las alternativas, no así las de variables netamente técnicas que influyen en la vida útil de un equipo minero.

Los servicios técnicos solo tienen en cuenta los aspectos relacionados con el mantenimiento y la reparación de los equipos, sin considerar hasta qué punto puede extenderse la vida útil con la aplicación de servicios de tecnología de avanzada. Además, los procedimientos no relacionan los STC como aspecto de gran influencia en el rendimiento.

## **6. CONCLUSIONES**

Hasta la fecha el concepto de servicios técnicos solo está estrechamente relacionado con la reparación y el mantenimiento de los equipos y sus elementos, sin incluir los demás aspectos incluidos en los Servicios Técnicos de la Contratación.

No existen modelos o análisis de reemplazos en función del rendimiento de los equipos que tributen al cumplimiento de los Servicios Técnicos de la Contratación

## REFERENCIAS

- ABARCA, R. & ALVARADO, M. 2000: Análisis de vida útil de equipos y bienes de capital. Universidad Central de Chile, 17 p. [en línea]. Consulta: 3 dic 2009. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ForazarDescargaArchivo.jsp?cvRev>.
- ADUVIRE, E. O. 1990: Reemplazo óptimo de maquinaria minera en explotaciones a cielo abierto mediante el análisis sensibilidad económico financiero por la vía del riesgo. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid
- AGACHANOV, M. 2010: Sao gasprobank lising pod znakomcinergui. *Gornaya Promyshlennost* (en ruso). 5 (93) :22-24. ISSN 1609-9192.
- BACA, G. 2000: Ingeniería Económica. 6 ed. Fondo Educativo Panamericano. Bogotá, 366 p. ISBN: 9589489133
- BEICHELT, F. A. 2001: Replacement policy based on limiting the cumulative maintenance cost. *The International Journal of Quality & Reliability Management* 18(1): 76-83 [en línea]. Consulta: 4 marzo 2009. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1108/02656710110364459>
- BLANCK, T. & TARQUIN, J. 1999: Ingeniería Económica. 4 ed. Mc. Graw Hill, México, 722 p.
- BOLTINI, R. 2008: Modelos matemáticos para la optimización de reemplazo preventivo e inspecciones preventivas. En: 10mo Congreso Internacional de Mantenimiento y 4to Congreso Trinacional de Mantenimiento. Buenos Aires. 41 p. [en línea]. Consulta: 9 marzo 2010. Disponible en: <http://www.cam-mantenimiento.com.ar/down.php?id=56>.
- BOTÍN, J. A. 1986: Modelo matemático para la programación del mantenimiento y control presupuestario de sistemas de transporte de mineral mediante camiones fuera ruta. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid
- BRUZOS, G.; FRÓMETA, S.; MIRABENT, J. 2005: Análisis técnico económico de los vehículos que circulan en Cuba y la reposición del parque. *Cienciapc* [en línea], revisada 10/01/10, disponible en: <http://www.redalyc.org/articuloBasic.oa?id=181322699005>
- CANTILLO, V. 1998. Reemplazo económico de los equipos. *Ingeniería & Desarrollo*. [en línea]. 3-4 :58-63. Consulta: 21 ene 2009. Disponible en: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2194>
- CHURCHMAN, W.; ACKOFF, R. & ARNOFF, L. 1971: Introducción a la Investigación Operativa. Ediciones Aguilar S. A., Madrid.

- COSS, R. 1999: *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. 2 ed. México, Limusa, 375 p.
- CURBEIRA, D. 2002: Nueva dimensión de la teoría de la reposición y el mantenimiento. Tesis de maestría. Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez". Cuba.
- CUBA. CIRCULAR AE-358. 2008: Convertidor de Códigos de Grupos de Activos Fijos, para aplicar en el Módulo de Activos Fijos del SISCONT5. Ministerio de la Industria Básica. Área de Economía.
- ESPINOSA, J. 1990: Reemplazo de equipos: un enfoque de mantenimiento. *Mantenimiento* 1 :5-10. ISSN 0716-8616
- ESPINOSA, F. 2009: Modelo para el estudio del reemplazo de un equipo. Universidad de Talca. Facultad de Ingeniería. 11 p.
- FIGUERA, J. & FIGUERA, J. R. 1979: Renovación de equipos industriales. Editorial Hispanoeuropea, Barcelona, 264 p.
- GARCÍA, M. 1969: El método MAPI como criterio para la sustitución de maquinaria. IIT Tecnología. Instituto de Investigaciones Tecnológicas v. XI, No. 6.
- GARCÍA, M. I. 2008: Perfeccionamiento del procedimiento de adquisición y explotación de los equipos mineros en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Cuba.
- GARCÍA, M. I. & RAHUTIN, G. 2011: The use of leasing to improve the quality of maintenance equipment in the quarries of Cuba (en ruso). *Gornoie Abarudobanie i Electromejanika* [en línea]. 6 :33-38. ISSN: 1816-4528 Disponible en: <http://www.novtex.ru/gormash/soderjan2011.htm>.
- GÓMEZ, G. 2001: Análisis de reemplazo de activos físicos. Chile. 6 p. [en línea]. Consulta: 21 sep 2009. Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/canales/financiera/articulos/17/caue.htm>
- GUTIÉRREZ, S. 1967: El método TERBORGH o M.A.P.I. para la determinación del momento de la renovación de un equipo. *Estadística Española*, 37 (Oct-Dic) :61-78. Disponible en: [www.ine.es](http://www.ine.es). Consulta: 21 sept 2009
- HARTMAN, J. 2001: An economic replacement model with probabilistic asset utilization. *IIE Transactions* [en línea].33 (9) :717 Consulta: 21 sep 2009. Disponible en: <http://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FA%3A1010941731270.pdf> doi: 10.1023/A:1010941731270
- HILLIER, F. & LIEBERMAN, G. 2001: *Investigación de Operaciones*. 7 ed. Editorial Mc. Graw Hill, México D. F.
- HOYOS, C. 2000: *Un modelo para la investigación documental: guía teórico-práctica sobre construcción de Estados del Arte con importantes reflexiones sobre la investigación*. Señal Editora, Medellín, 118 p.

- MARRERO, F. & ABREU, R. 2001: Simulación de sistemas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, p.5
- MEY, J. L. 1956: Financiering en liquiditeit. Publicado por Van der Marck.
- MIRA, L. 1994: Tiempo óptimo de reposición por obsolescencia del equipo. Biblioteca Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá: N° 147.
- PEUMANS, H. 1966: Théorie et pratique des calculs d'investissement. *Revue économique*. 17 (4) :693-694.  
[http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/reco\\_0035-2764\\_1966\\_num\\_17\\_4\\_407724\\_t1\\_0693\\_0000\\_002](http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/reco_0035-2764_1966_num_17_4_407724_t1_0693_0000_002)
- POVEDA, G. 2002: Óptimo económico de máquinas y equipos. Parte I. Delimitación del problema. Revista Facultad de Ingeniería No. 27. Universidad de Antioquia, Colombia [en línea] Consulta: 6 ene 2010. Disponible en: <http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro027/articulos.htm>.
- POVEDA, G. 2003: Óptimo económico de máquinas y equipos. Parte II. El modelo matemático. Revista Facultad de Ingeniería No. 28. Universidad de Antioquia, Colombia [en línea]. Consulta: 6 ene 2010. Disponible en: <http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro028/articulos.html>
- PRAWDA, J. 1981: *Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones*. Editorial Limusa S. A., Vol. 1/2, México D. F.
- PRECIADO, J. A. 2001: Aplicación de un modelo económico para la toma de decisiones en reemplazo de equipo de acarreo en una mina a cielo abierto. Tesis de maestría. Manzanillo, Colima [en línea]. Consulta: 6 ene 2010. Disponible en: [http://digeset.uco.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/Jose%20Antonio%20Preciado%20Hernandez.pdf](http://digeset.uco.mx/tesis_posgrado/Pdf/Jose%20Antonio%20Preciado%20Hernandez.pdf)
- RAIBMAN, N. S.; EYKHOFF, P.; CHADEEV, V. M. 1980: *Identification of Industrial Processes: The Application of Computers in Research and Production Control*. Book Sparks, N. V. ISBN 13: 9780444851819
- RAHUTIN, M. G. 2010: Metodologia Abasnabania Pridielnijsastaianny i Reserva Elementov Gidra Pribadagornij Machin (en ruso) Resumen Tesis doctoral. Universidad Estatal de Moscú. 40 p.
- RAY, T. 1999: Development of an Approach to Facilitate Optimal Equipment Replacement. Louisiana State University [en línea]. Consulta: 29 sep 2009. Disponible en: [www.ltrc.lsu.edu/pdf/techsumm329.pdf](http://www.ltrc.lsu.edu/pdf/techsumm329.pdf).
- REUL, I. R. 1957: Profitability Index for Investments. Harvard Business Review. 17 p.
- SASIENI, M.; YASPAN, A. & FRIEDMAN, L. 1982: *Investigación de operaciones. Métodos y problemas*. Editorial Limusa, México D. F.
- SELIVANOV, I. A. 1972. *Fundamentos de la teoría del envejecimiento de los equipos*. Editorial Mir, Moscú, 392 p.

- SCOTT, B. 2005: Contratos Mineros [en línea]. Consulta: 19 jul 2007. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/gestion/politica/marco/marco.htm](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/marco/marco.htm)
- TARQUIN, A. J. & BLANK, L. T. 1978: *Ingeniería Económica*. Mc. Graw Hill, México, 412 p.
- TAYLOR, G. H. 1977: *Ingeniería Económica*. 7 ed. Editorial Limusa, México, 556 p.
- TERBORGH, G. 1956: Realistic Depreciation Policy, by George Terborgh, Machinery and Allied Products Institute, 197 p. En: *The Engineering Economist* [en línea] 1 (3) :14-16. Consulta: 30 dic 2009. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0013791X.1956.10131765>
- THUESEN, H. G.; FABRYCKY, W. J. & THUESEN, G. J. 1986: *Ingeniería Económica*. Prentice Hall, 210 p. [en línea]. Consulta: 30 dic 2009. Disponible en: <http://dspace.ucbscz.edu.bo/dspace/handle/123456789/841>
- VIVEROS, A.; GONZÁLEZ, V. G.; RODRÍGUEZ, B. R. 2004: Aproximación al reemplazo de equipo industrial. *SCientia et Téchnica* X (45): 163-168 ISSN 0122-1701 [en línea]. Consulta: 6 ene 2010. Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7245>
- WALKER, J. 1994: Graphical analysis for machine replacement: A case study. *International Journal of Operations & Production Management* [en línea] 14(10): 54. Consulta: 30 nov 2009. Disponible en: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=848823>.  
Doi: 10.1108/01443579410067252
- XODO, D.; ILESCA, G. 2006: Teoría de Fallas y Reemplazos Investigación Operativa I. En: Universidad Central inversiones [en línea]. Consulta: 6 ene 2012. Disponible en: [http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/inv\\_op/2012/apuntes/Modelos\\_de\\_Reemplazo.pdf](http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/inv_op/2012/apuntes/Modelos_de_Reemplazo.pdf)

**María Isabel García-De la Cruz**

Ingeniera de Minas. Máster en Minería.

Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Moa, Holguín, Cuba.

[mgarcia@ecg.moa.minbas.cu](mailto:mgarcia@ecg.moa.minbas.cu)

**Mayda Ulloa-Carcassés**

Profesora Titular. Doctora en Ciencias Económicas.

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, "Dr. Antonio Núñez Jiménez" Holguín, Cuba.

[mulloac@ismm.edu.cu](mailto:mulloac@ismm.edu.cu)

**Orlando Belete-Fuentes**

Profesor Titular. Doctor en Ciencias Técnicas.

Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Moa Holguín, Cuba.

[obelete@ismm.edu.cu](mailto:obelete@ismm.edu.cu)