

MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA. BUENAS PRÁCTICAS

3.1 IMPORTANCIA DE LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La adecuada gestión de la energía permite a las empresas alcanzar mayor productividad y mayor calidad de producción. Es fundamental, el conocimiento de cómo una empresa contrata su energía, cómo la consume en sus procesos, y cuánto repercute en sus costes, su posición relativa respecto a otras empresas similares y las posibles mejoras para disminuir el coste energético.

La incidencia de la energía en los costes de producción de una cantera o una gravera es un hecho muy relevante al que normalmente no se le presta la suficiente atención. En un escenario como el actual, donde muy recientemente (2008) el precio del barril de petróleo ha rondado los 150 dólares, no debe tomarse a la ligera la necesidad de realizar un estudio adecuado sobre las fuentes de suministro de energía y los procesos donde ésta se consume, para optimizar permanentemente estas cuestiones.

Como ejemplo, puede decirse que, en la actualidad, el consumo de gasóleo es elevado en las explotaciones mineras a cielo abierto, debido al sistema de explotación empleado, donde existe un elevado número de maquinaria, denominada autónoma o móvil, cuya única o principal fuente de generación de energía es el combustible fósil (gasóleo).

- Palas cargadoras.
- *Maquinaria clasificadora.
- Retroexcavadoras.
- Camiones y hormigoneras.
- Vehículos de desplazamiento de personal.
- *Machacadoras.
- *Molino y criba móviles.
- Otras

Todas las aproximaciones sobre la energía coinciden en dar importancia prioritaria al incremento general de la eficiencia en el uso de la misma.

Aunque a priori pudiera pensarse que "eficiencia energética" es un concepto autoexplicativo y que, por tanto, el alcance del mismo está claramente delimitado, la realidad muestra que se trata de un término polivalente, como lo demuestran las dificultades que encuentran los expertos para ponerse de acuerdo a la hora de establecer indicadores específicos de eficiencia energética.

Casi siempre se tiende a sobredimensionar la componente tecnológica de la eficiencia energética frente a otros elementos. Siendo importante, la componente tecnológica no es necesariamente la principal y sobre todo no siempre resulta la más afectada durante la puesta en marcha de cierto tipo de medidas. Por ello, parece oportuno delimitar en lo posible lo que se entiende como eficiencia energética.

La acepción de la eficiencia energética, como componente tecnológica de la misma, puede visualizarse en cualquier sector productivo. Un cambio en el proceso de producción puede traducirse en la necesidad de una menor cantidad de energía por unidad de producción. Se asiste así a una mejora en la eficiencia energética individual de una determinada empresa o conjunto de empresas. Sin embargo, esta mejora puede ser contrarrestada por una mayor producción o por un desplazamiento hacia sectores energéticos más intensivos en energía, sin que se produzca una reducción en la demanda energética.

La **eficiencia energética** no es sólo una cuestión de poseer las últimas tecnologías, sino de saber **emplear y administrar los recursos energéticos de un modo hábil y eficaz**. En resumen, una **buena gestión de procesos productivos y de consumo energético** debe incluir **medidas tecnológicas**, así como **cambios de comportamiento en el uso de la energía**.

* NOTA: Las señaladas con asterisco no tienen por **única** fuente el gasóleo.

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

Se debe tener en cuenta que todos los efectos que se derivan de la mejora en la gestión de procesos productivos y el consumo energético son positivos:

- Los procesos productivos han de ser más eficientes, lo cual redundará en una mayor competitividad entre las empresas.
- Las emisiones contaminantes se reducen a un mínimo ecológicamente aceptable, con las correspondientes ventajas medioambientales.
- La factura energética se reduce, lo que implica una mejora de la balanza de pagos de la empresa.

Toda empresa debe tener una cultura energética, la cual mide el nivel de sensibilidad de la empresa hacia los temas relacionados con la eficiencia energética. Para tener éxito, debe establecer, documentar, implementar, mantener y mejorar de forma continua un sistema de gestión energética.

Para una correcta gestión energética del sector extractivo, es necesario conocer todos los puntos que determinan cuáles son los elementos más importantes a la hora de lograr la optimización energética. Este conocimiento, debe permitir un mejor aprovechamiento de los recursos y un ahorro tanto en el consumo como en el dimensionamiento de las instalaciones.

El objeto es identificar el estado energético actual de las instalaciones, y mediante la determinación del potencial de ahorro de energía en las empresas, proponer mejoras sobre la eficiencia energética de las mismas.

Como parámetro de eficiencia energética se considera el consumo energético por la cantidad de toneladas producidas.

La energía total consumida en una explotación obedece a la siguiente fórmula:

$$E = E_D + E_P + E_V + E_C + E_T + E_{pr} + E_A + E_e$$

Siendo :

E = Energía total consumida.

E_D = Energía consumida en la descubierta

E_P = Energía consumida en la perforación.

E_V = Energía consumida en la voladura.

E_C = Energía consumida en la carga.

E_T = Energía consumida en el transporte.

E_{pr} = Energía consumida en el proceso de tratamiento (trituration, molienda, clasificación y lavado)

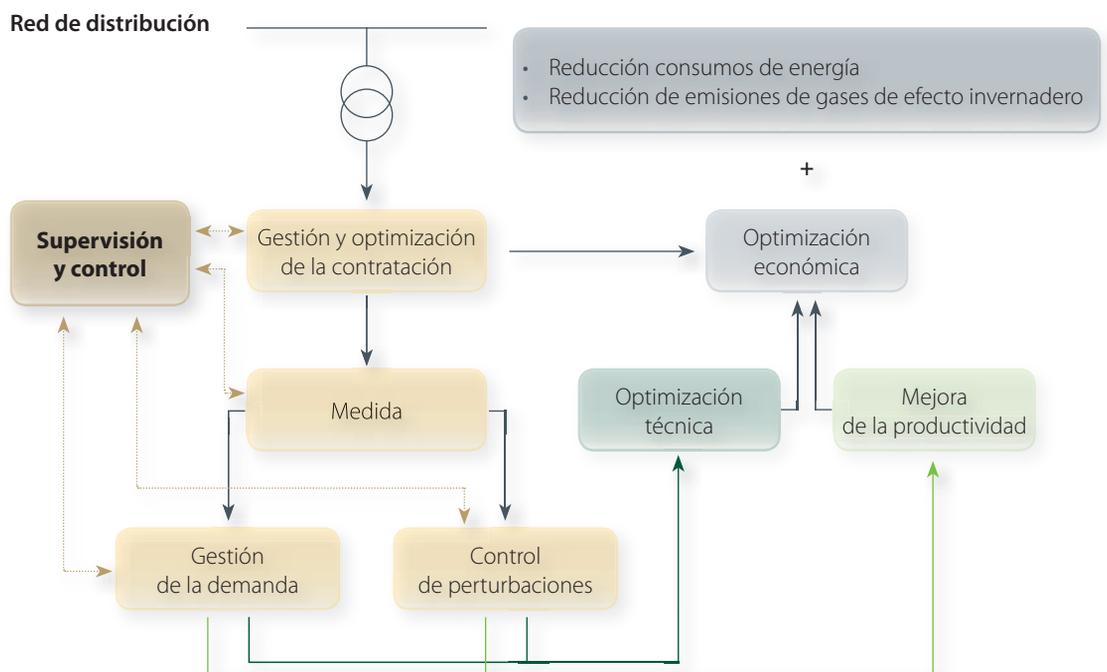
E_A = Energía consumida en operaciones auxiliares

E_R = Energía consumida en restauración

De estos costes, E_T con el 50% y E_V son los más destacados.

FIGURA 7

EFICIENCIA ENERGÉTICA

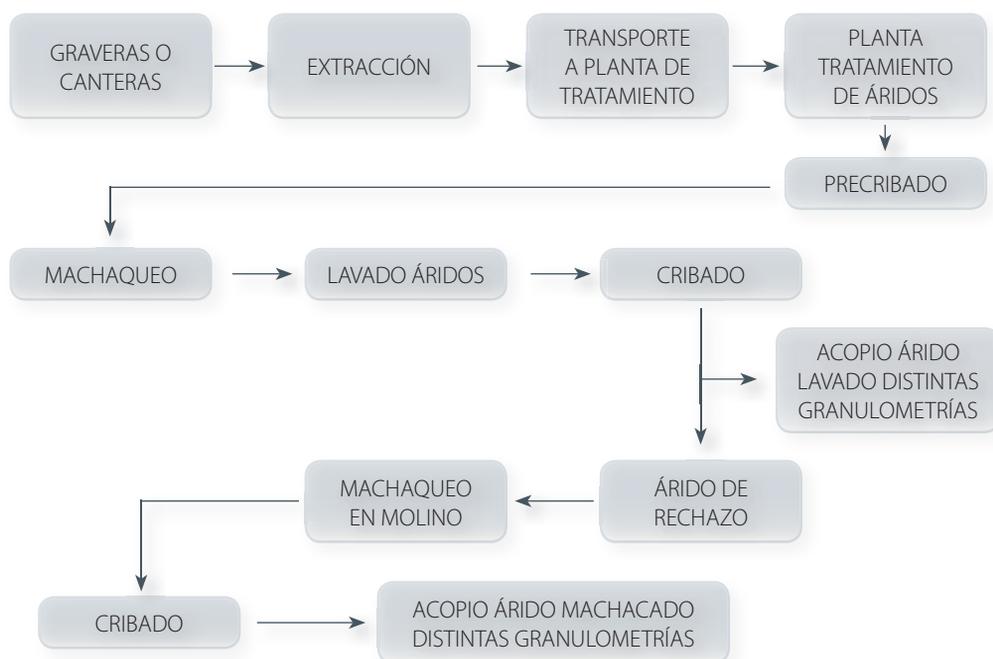


MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

3.2 DIAGNÓSTICO INICIAL DE LA SITUACIÓN. PREDIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

El esquema del proceso se muestra en la figura siguiente, si bien en función del tipo de proceso de tratamiento en cada explotación, puede ser diferente considerando otras etapas.

FIGURA 8 ESQUEMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN



La evaluación y análisis de los datos se presenta en las siguientes categorías:

- Fuente de energía
- Eficiencia energética de motores
- Gestión de información de consumo de gasóleo. Ahorro en la conducción
- Mantenimiento de equipos

3.2.1 FUENTE DE ENERGÍA

La distribución del consumo energético, entre energía eléctrica y combustible, demandada por el sector extractivo, depende de varios factores tales como:

- Tipo de instalación
- Maquinaria
- Ubicación
- ...

Las aplicaciones que más consumo de energía concentran en una explotación de áridos son: la maquinaria fija de la planta de tratamiento y la maquinaria móvil.

El consumo de energía como una variable más dentro de la gestión, adquiere relevancia cuando de esa gestión se pueden obtener ventajas que se traducen directamente en ahorros reflejados en la cuenta de resultados.

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

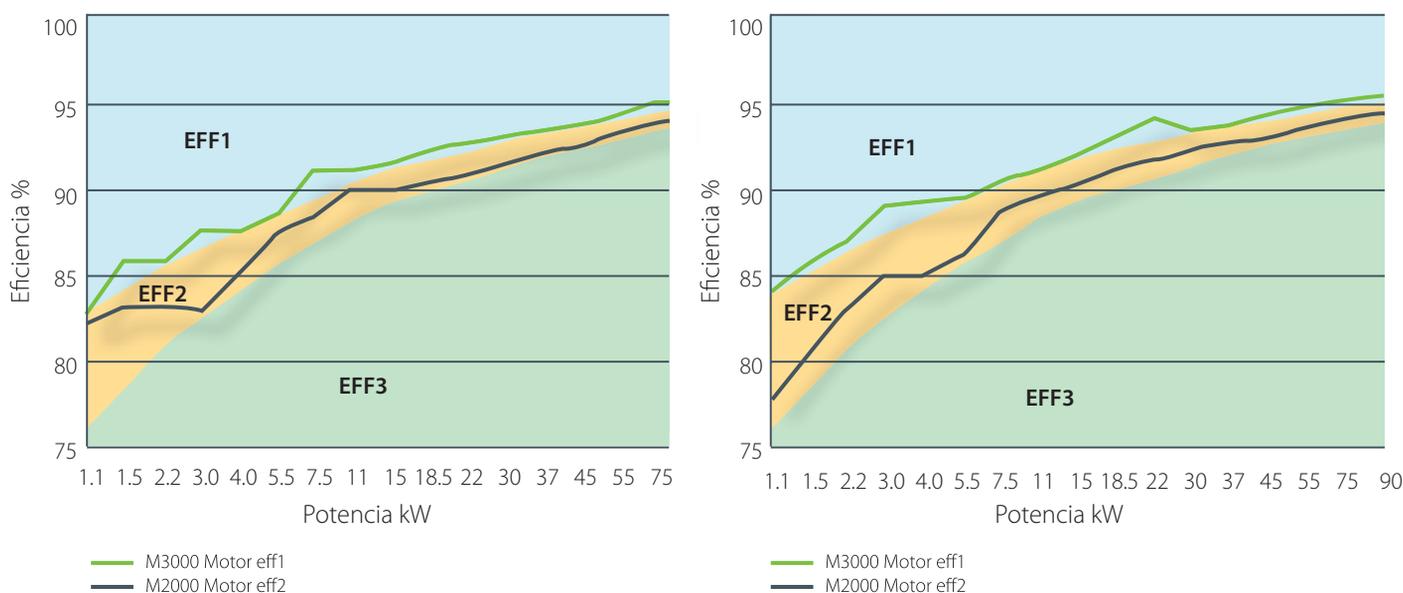
Se han de tener en cuenta dos aspectos fundamentales que permiten optimizar el coste de la energía y por tanto maximizar el beneficio:

TABLA 6

Optimización de la tarifa	Revisión de los contratos de energía: electricidad
	Detección de puntos de mejora
Optimización de instalaciones: análisis de las instalaciones	Establecimiento de planes de mejora
	Valoración económica de la mejora

Para conseguir una adecuada optimización en las tarifas en la factura eléctrica, se han de identificar los conceptos en los cuales se pueden obtener mayores ahorros como puede ser el término de potencia, el término de energía, el complemento reactiva, etc.

FIGURA 9



Fuente: Publicación Motores eléctricos de alta eficiencia. Editada por Comunidad de Madrid- Febrero 2008

En una explotación de áridos, según la muestra analizada, únicamente el 18% de la energía consumida en la producción de áridos es de origen eléctrico, mientras que el 82% restante, es gasóleo utilizado para la extracción y el transporte. De esta forma, y con los precios actuales, el coste de la energía consumida se distribuye como un 27% de energía eléctrica y un 73% con origen el gasóleo.

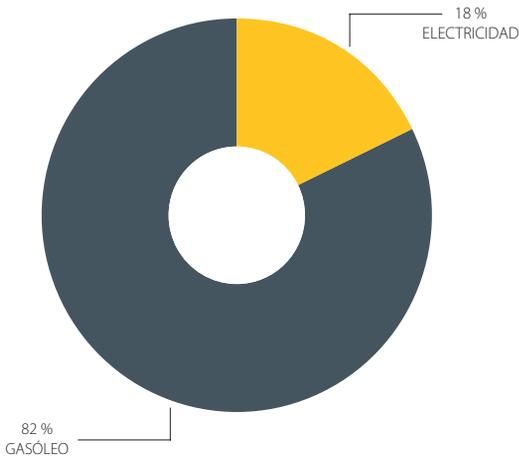
Además, hay que tener en cuenta el consumo de explosivos, por su influencia en los consumos registrados en procesos de aguas abajo. Según un Estudio de la Comunidad de Madrid, los consumos medios de energía por tonelada de canteras de áridos de machaqueo son:

- Explosivo: 117 g/t
- Gasóleo: 0.28 l/t
- Energía eléctrica : 1.76 kWh/t

Como se puede observar es, sin duda, la parte destinada al funcionamiento de la maquinaria la principal consumidora de energía, por lo tanto, los principales esfuerzos de los empresarios del sector a la hora de realizar inversiones en ahorro energético, han de ir dirigidos a la reducción de dicho consumo, bien mediante la utilización de tecnologías más eficientes (reducción de la cantidad consumida), bien mediante la elección de la tarifa más adecuada (reducción del coste unitario).

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

FIGURA 10 Distribución del origen de energía consumida



Aún así, los costes energéticos varían sustancialmente dependiendo del tipo de explotación, así es menor en aquéllas en las que únicamente se extrae el material por arranque directo del mismo que en las que se realiza mediante voladura, como es el caso de las canteras. De igual forma, los costes energéticos aumentan cuando el yacimiento está muy alejado de la zona de tratamiento y almacenamiento, así como cuando la explotación se encuentra alejada de la zona de venta, caso en el que los costes energéticos, derivados del transporte, aumentarían considerablemente.

El potencial de ahorro es mayor al aplicar medidas que busquen optimizar el sistema de explotación. La optimización del ciclo a través de voladuras que produzcan una adecuada fragmentación permitirá así mismo, reducir el consumo energético en las operaciones aguas abajo. Por último, el diseñar equipos e instalaciones también ayudará a lograr los objetivos.

3.2.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES

La utilización de motores eléctricos de alta eficiencia presenta un potencial de ahorro muy importante. El conjunto de los accionamientos eléctricos está formado por:

- Motor eléctrico
- Motor eléctrico con reductor
- Motor eléctrico alimentado con convertidor de frecuencia

FIGURA 11 Distribución del coste energético

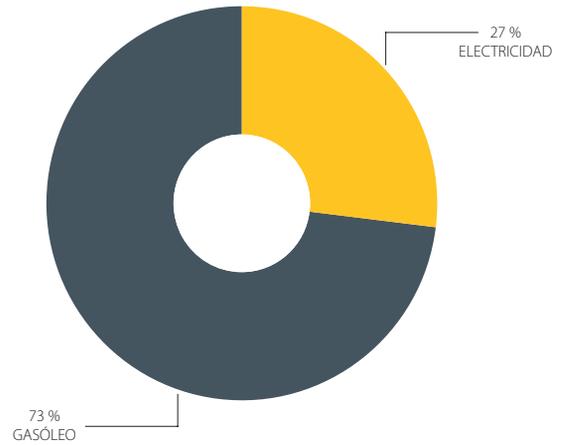
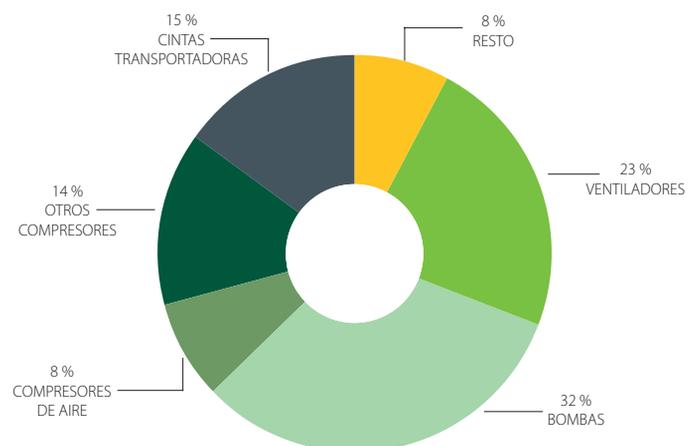


FIGURA 12 PIRÁMIDE DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA



Fuente: Carlos López Jimeno. "La eficiencia Energética en las Canteras de Áridos".

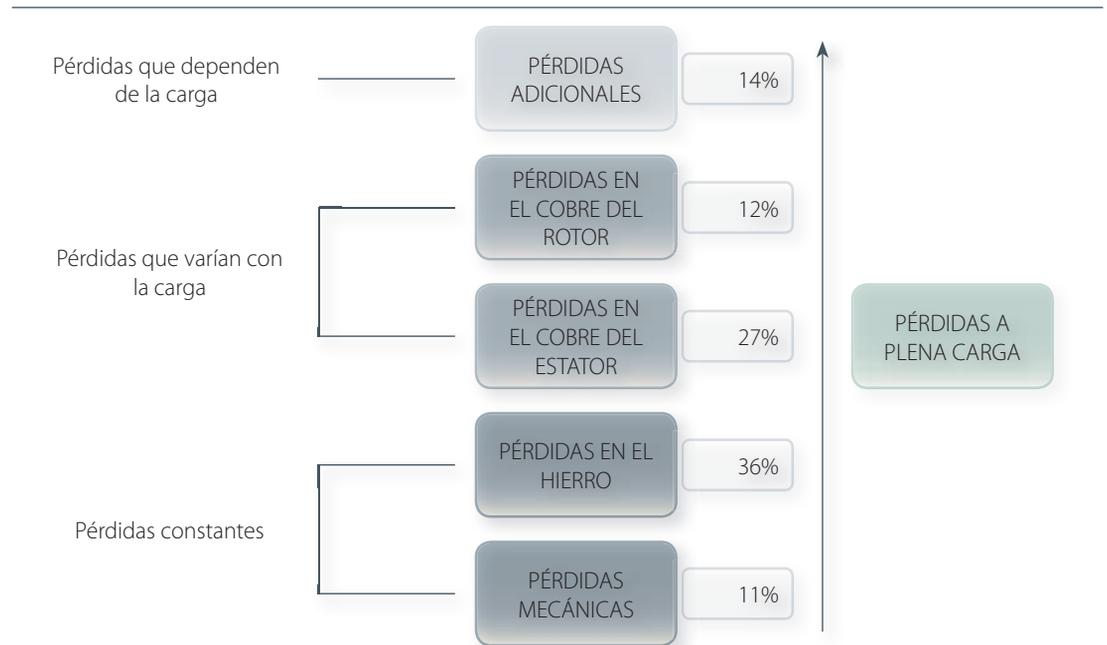
FIGURA 13



MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

En una explotación de áridos se estima que el 70% del consumo eléctrico se emplea para el accionamiento de motores de distintos tamaños (molinos, cintas transportadoras, vibradores, etc.), siendo el 30% restante destinado a compresores e iluminación.

FIGURA 14 DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS EN EL MOTOR



A la hora de realizar la selección de un motor de alta eficiencia se tienen que tener en cuenta 4 reglas que han de llevar al éxito en el diseño y la explotación de accionamientos eficientes:



Cantera típica para obtención de áridos naturales



Cantera típica para obtención de áridos por machaqueo

- **Regla 1: Tamaño**
En la elección del tamaño del motor hay que considerar diferentes factores que hacen que la potencia consumida por el motor seleccionado ascienda al 25% de la potencia asignada del motor.

Cuando el motor funciona fuera del punto nominal de trabajo, que corresponde con su potencia asignada que se indica en la placa, desarrolla un rendimiento muy inferior al nominal.

Se debe evitar sobredimensionar el motor mediante la aplicación de coeficientes de seguridad.

- **Regla 2: Regulación de velocidad**
La regulación de la velocidad se puede conseguir mediante un motor que tenga dos velocidades o mediante un motor accionado por un convertidor de frecuencia. La selección de una u otra aplicación se basará en un estudio del coste de la inversión, de la fiabilidad del sistema y del ahorro energético.

- **Regla 3: Motor de alto rendimiento**
Para que un motor cumpla con los rendimientos mínimos exigidos, éste se tiene que optimizar teniendo en cuenta dónde se originan las pérdidas.

- **Regla 4: No comprar el motor solamente por el precio de venta**
Bajo el potencial de ahorro y mejora del medio ambiente se han desarrollado políticas energéticas para incentivar el uso de motores eléctricos de elevado rendimiento.

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

3.2.3 GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE CONSUMO DE GASÓLEO. AHORRO EN LA CONDUCCIÓN

En la mayoría de las explotaciones el consumo de gasóleo es, prácticamente en su totalidad, el empleado para el funcionamiento de la maquinaria móvil usando sólo una pequeña parte para el accionamiento de algunos motores de elementos de la planta de tratamiento.

Además, en función de si la máquina es utilizada para el desarrollo del proceso productivo, o bien a la distribución y venta o al trabajo en obra, el consumo de gasóleo es diferente.

Se ha observado, en numerosas ocasiones, que mediante una correcta conducción se disminuye, considerablemente, el consumo de gasóleo, aspecto que se debe tener en cuenta para una mejora de la eficiencia energética en el sector.



Detalle de una instalación de almacenaje de gasóleo



Fase de transporte



Vehículo en báscula

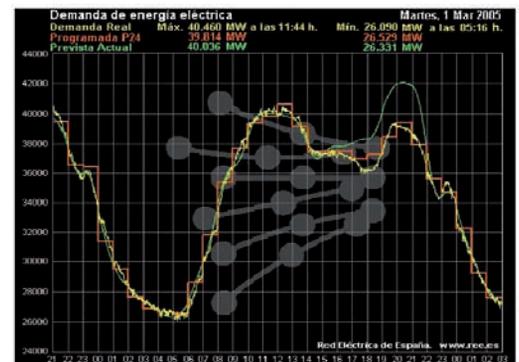
3.2.4 MANTENIMIENTO DE EQUIPOS

El mantenimiento es el conjunto de acciones que permiten conservar o restablecer un bien o asegurar un servicio determinado, de tal manera que el coste global sea el óptimo.

Un correcto mantenimiento de los equipos consigue conservar los estándares de calidad y reduce los costes energéticos, además de impedir averías, paradas no controladas o no previstas, accidentes, costes elevados, etc. Si se realiza un mantenimiento preventivo adecuado, se disminuye la necesidad de un mantenimiento correctivo, obteniendo un mejor rendimiento de los equipos con la consecuente reducción de costes y una mejora de la calidad de servicio.

Debido a un mal funcionamiento de los equipos, se pueden producir grandes consumos de energía, es por ello, por lo que se debe establecer un programa regular de mantenimiento periódico de cada uno y controlado de acuerdo a las instrucciones del fabricante del equipo.

En el sector extractivo no es posible calcular *a priori* el beneficio económico de las operaciones de mantenimiento sobre el consumo energético de los motores eléctricos y combustibles puesto que dependerá de las circunstancias de cada uno de ellos. Por lo que es importante realizar una buena gestión del mantenimiento, la cual ha de tener un único objetivo, es decir, disponer de la instalación y la maquinaria el máximo tiempo posible con el mínimo coste. Para lograr este objetivo se debe cumplir el plan de mantenimiento estipulado por el fabricante, o el diseñado por la propia empresa, de tal manera que no se produzcan excesivas interrupciones en la producción.



Curva demanda nacional. Fuente: Red Eléctrica de España



Detalle de la fase de operación

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

3.3 MEJORAS ENERGÉTICAS. RECOMENDACIONES Y BUENAS PRÁCTICAS

Todos aquellos aspectos identificados en el punto anterior pueden mejorarse de una manera eficiente aplicando una serie de buenas prácticas energéticas que se describen a continuación.

3.3.1 FUENTE DE LA ENERGÍA

Para reducir el coste de los consumos de energía y por lo tanto tener una mayor eficiencia energética podemos:

- Optimizar el contrato
- Optimizar las instalaciones y la maquinaria

Algunas posibilidades de optimización de algunos elementos son:

- *Optimizar el contrato*

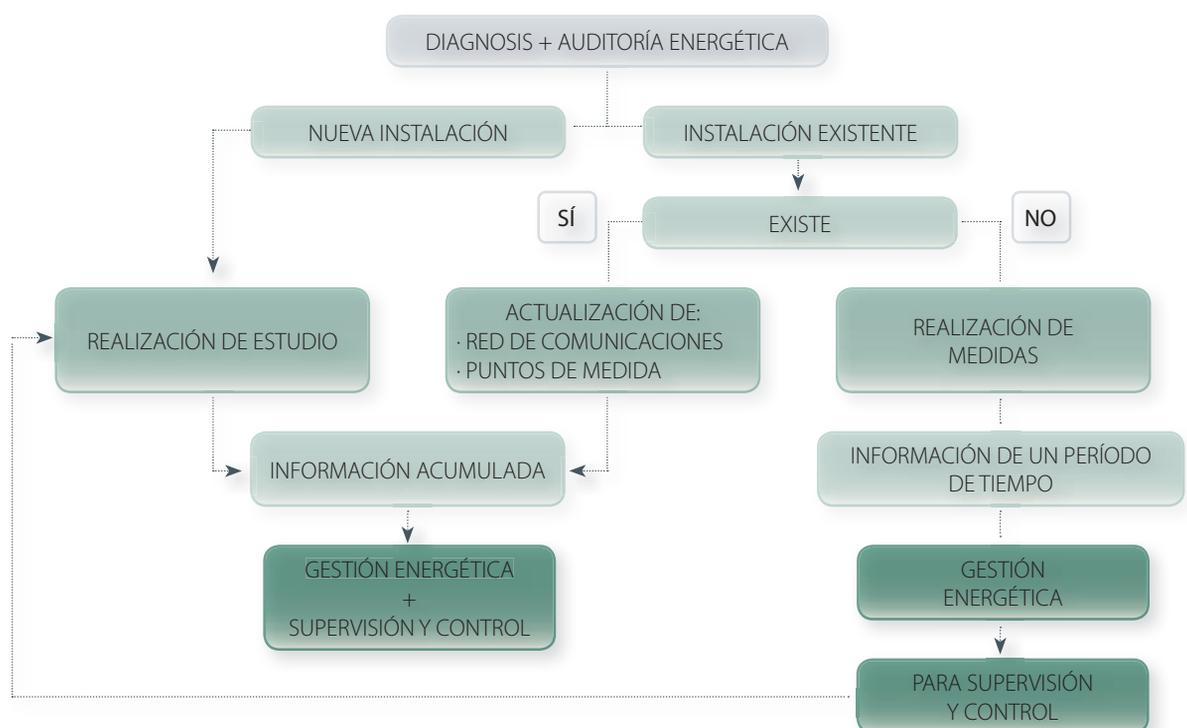
Personal especializado debe estudiar la mejor adaptación a la nueva normativa en la empresa en concreto.

Debe estudiarse el factor de potencia (F.P.) de las instalaciones, la tarifa más conveniente, y el suministrador.

Se debe optimizar la potencia eléctrica contratada y dimensionar correctamente el factor de potencia, ajustar la producción a períodos tarifarios valle y realizar una revisión y un mantenimiento correcto de las instalaciones eléctricas, como el centro de transformación.

FIGURA 15

PLANTEAMIENTO DE UN ESTUDIO ENERGÉTICO



MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

TABLA 7

Las compañías eléctricas penalizan el consumo de Energía Reactiva, conforme establece la orden ITC 3860/2007 de 28 de Diciembre de 2007, adaptada a lo dispuesto en la Directiva 2003/54CE, facturando al cliente el consumo de Energía Reactiva según el $FP = \cos \phi$ de la red.

$\cos \phi$ de 1 y hasta 0.95	Sin penalización
$\cos \phi$ de 0.95 y hasta 0.90	0.00001 €/Kvarh
$\cos \phi$ de 0.90 y hasta 0.85	0.013091 €/Kvarh
$\cos \phi$ de 0.85 y hasta 0.80	0.026182 €/Kvarh
$\cos \phi$ de 0.80 en adelante	0.039274 €/Kvarh

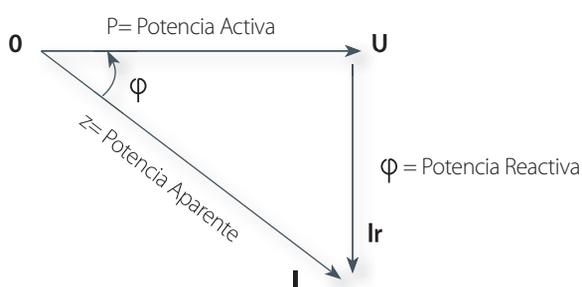
La potencia eléctrica es el resultado de multiplicar la tensión U por la corriente I que le corresponde, por lo tanto hay que distinguir entre:

Potencia aparente $P = U \cdot I$

Potencia activa $P = U \cdot I_a = U \cdot I_a \cdot \cos \phi$

Potencia reactiva $P = U \cdot I_r = U \cdot I_r \cdot \sin \phi$

FIGURA 16 DESCRIPCIÓN DE LAS DIFERENTES POTENCIAS



La manera más sencilla para ser eficientes frente al consumo de Energía Reactiva es tener un Factor de Potencia en la red eléctrica superior al 0.95, y para ello es necesario conectar condensadores eléctricos en paralelo a la red, que generan una acción eléctrica opuesta a la de la carga inductiva mejorando ese Factor de Potencia a los valores deseados.

Tras la compensación, mediante condensadores:

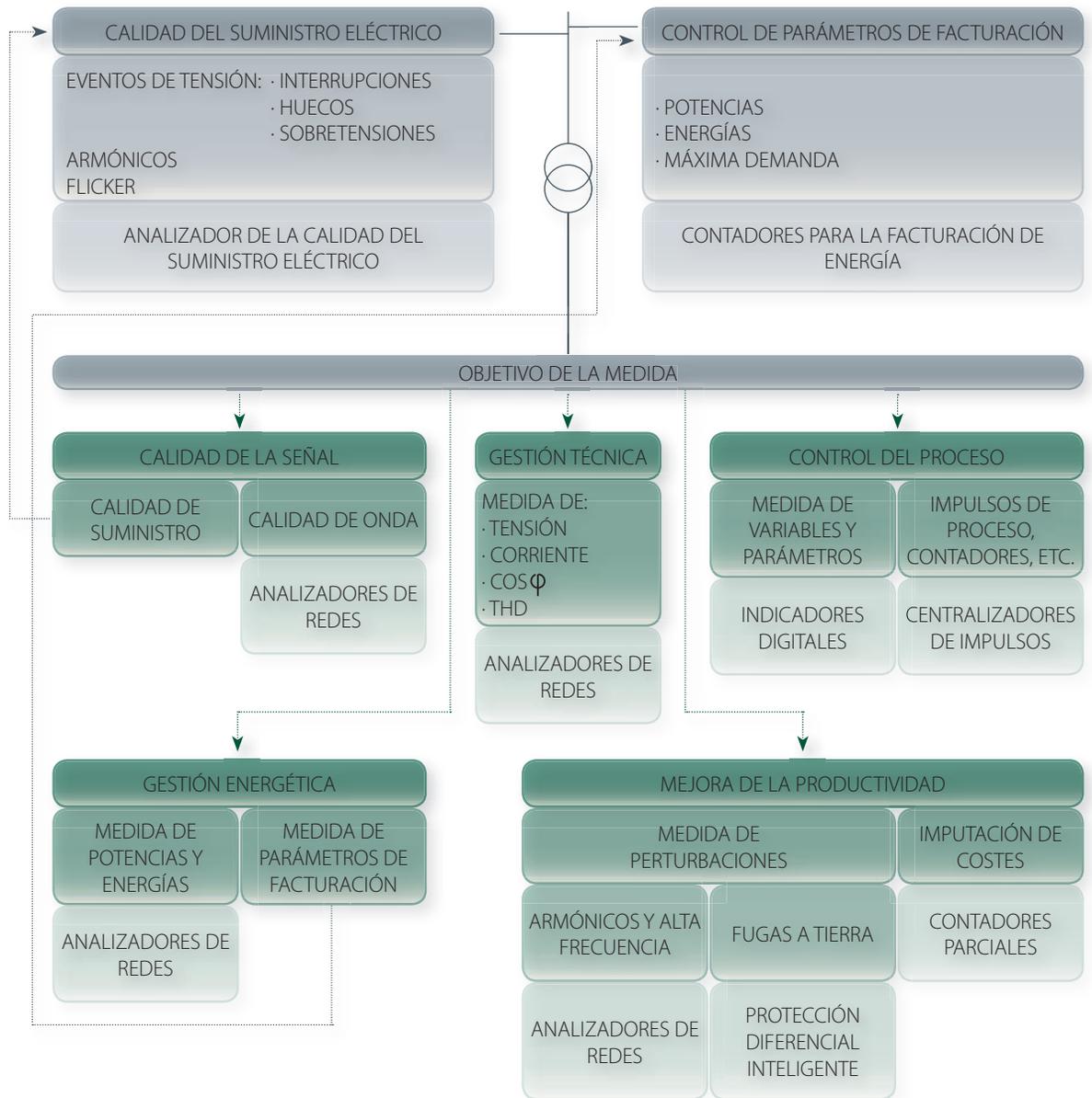
- 1.- La red proporciona Potencia Activa en su práctica totalidad.
- 2.- La corriente en los conductores resulta menor.
- 3.- Menores pérdidas.
- 4.- Reduce el importe de la facturación por parte de la empresa.



MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

FIGURA 17

ESQUEMA GENERAL DE MEDIDA



MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

- Optimizar las instalaciones y la maquinaria.

TABLA 8

SISTEMA EQUIPO	MEJORAS POSIBLES	¿CÓMO?	CONSECUENCIA	AHORRO ESTIMADO
Motores de gasoil	Optimización de la combustión	Mediante análisis de la composición de los humos de escape. Ajuste y mantenimiento del motor	Ahorro en combustible. Reducción de la factura	15%
Motores eléctricos	Disminución de la potencia de arranque (mediante curva de arranque controlado por rampa)	Funcionamiento mediante variador de frecuencia	Optimización de la potencia de contrato, reduciendo el coste de la factura	15%
Bombas de circulación de fluidos (general)	Optimización del consumo eléctrico, según la presión del agua	Funcionamiento mediante variador de frecuencia	Reducción del consumo eléctrico. Reducción del coste en la factura eléctrica	15%
Motores general	Motores alto rendimiento	Motores especiales de alto rendimiento	Disminución del consumo eléctrico	20%
Compresores de aire	Utilización del calor sobrante de la refrigeración de los compresores	Reutilización del aire caliente	Reducción del consumo eléctrico. Reducción del coste en la factura eléctrica	30%
Iluminación exterior	Optimización del consumo	Lámparas compactas de bajo consumo. Cambio de lámparas de vapor de sodio de alta presión	Reducción del consumo eléctrico. Reducción del coste en la factura eléctrica	40%
Iluminación interior (fluorescente)	Disminución del consumo y de la potencia de encendido	Cambio de las reactancias convencionales por balastos electrónicos de alta frecuencia	Disminución del consumo eléctrico y de la potencia. Reducción del coste de la factura eléctrica	20%
Iluminación interior (incandescencia)	Disminución del consumo y de la potencia de encendido	Cambio a lámparas de bajo consumo	Disminución del consumo eléctrico y de la potencia. Reducción del coste de la factura eléctrica	85%

3.3.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES

Para mejorar la eficiencia energética de los motores se debe estudiar la **potencia nominal** a la cual trabajan, con el fin de establecer si procede la sustitución de éstos por otros de menor potencia.

Las opciones de mejora de la eficiencia del consumo eléctrico pasan por las recomendaciones generales para motores como:

- Al realizar un cambio de maquinaria se recomienda instalar equipos con motores de eficiencia 1 según la clasificación que funciona en Europa desde 1998.
- Los equipos de mayor consumo (molinos) tienen un arranque estrella-triángulo, recomendándose, la instalación de **variadores de frecuencia** por tener estos un menor consumo energético. Asimismo,

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

mediante variadores de frecuencia pueden ser tratados los picos de consumo debidos a los ciclos de trituración en los molinos.

- Elegir correctamente la potencia de motores nuevos o de la sustitución de antiguos. El rendimiento máximo se obtiene cuando éste opera entre el 75% y el 95% de su potencia nominal y cae bruscamente para cargas reducidas (< del 50%) o cuando trabaja sobrecargado (>105%).
- Seleccionar el motor de acuerdo con su ciclo de trabajo. Operar un motor para servicio continuo, en accionamiento de operación intermitente ocasiona una depreciación de sus características de operación y eficiencia.
- Seleccionar correctamente la velocidad del motor. Si la carga lo permite se prefieren motores de alta velocidad, son más eficientes y trabajan con un mejor factor de potencia.
- Sustitución de los motores antiguos o de uso intenso.
- Balancear la tensión de alimentación en los motores. El desequilibrio entre fases no debe exceder en ningún caso el 5%, pero mientras menor sea el desequilibrio, mayor será la eficiencia.
- Utilizar arrancadores a tensión reducida en aquellos motores que realicen un número elevado de arranques.
- Instalar motores de velocidad ajustable mediante reguladores electrónicos en aquellos accionamientos en donde la carga sea variable.



3.3.3 GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE CONSUMO DE GASÓLEO. AHORRO EN LA CONDUCCIÓN

Entre las recomendaciones existentes está la mejora de los firmes (pistas y accesos) por donde circula la maquinaria, así como optimizar las operaciones de repostaje (in situ) y así disminuir el nº de viajes, y por lo tanto el tiempo empleado y el consumo asociado al desplazamiento.

Otra buena práctica a aplicar es realizar un estudio de los medios de los sistemas de transporte a planta desde el frente, de tal manera que:

- Sea posible la optimización de los sistemas de transporte atendiendo a:
 - El tipo y capacidad de los vehículos (Ratio gasóleo/ tonelada transportada)
 - El nº de operaciones
 - Reducir las operaciones y las distancias recorridas en vacío
 - Mejora de las pistas
 - Análisis del trazado
 - Biodiesel
 - Usar motores ecoeficientes
- En algunos casos, donde las características de la explotación lo permitan y tras realizar un estudio exhaustivo, instalar una cinta de cabecera, en función del análisis del proceso y de que las características de la explotación lo permitan, en el caso extractivo, lo que implicaría un menor nº de maquinaria (retroexcavadoras y dumpers), y por lo tanto menor nº de desplazamientos de la misma, con la consecuente disminución de consumo de gasóleo.
- Realizar una gestión integrada de los procesos de restauración, minimizando las distancias recorridas y el número de operaciones realizadas por los equipos.
- Rediseñar el punto de vertido en planta.
- Realizar un tratamiento selectivo previo (precibado) del material en el frente, y así disminuir el movimiento de estériles en transporte y en la planta.

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

Finalmente, una conducción eficiente por parte del conductor de una máquina determinada dentro de la explotación ofrece las siguientes ventajas:

- **Ahorro de energía.** El conductor con su comportamiento tiene una gran influencia sobre el consumo de carburante del vehículo, dando lugar a ahorros de carburante del orden del 10%. Esto supone un considerable ahorro energético.
- **Ahorro económico para las empresas de transporte.** El carburante supone la principal partida en los gastos que genera la actividad de un vehículo industrial. Una mayor eficiencia en el consumo de carburante incidirá en un ahorro de costes y por tanto, en un mayor beneficio económico para la empresa.
- **Reducción de los costes de mantenimiento.** El efecto de reducción de consumo está asociado no sólo a un menor coste en carburante, sino también a un menor coste en mantenimiento del vehículo, ya que las nuevas pautas a seguir, provocan que los distintos sistemas del vehículo (frenos, embrague, caja de cambios, motor...), estén sometidos a un esfuerzo inferior al que soportarían en el caso de la conducción convencional. Aplicando las técnicas de la conducción eficiente, se han registrado reducciones medias de utilización de la caja de cambios del orden del 30%.
- **Reducción de emisiones.** La reducción del consumo de carburante a través de la puesta en práctica de la conducción eficiente va ligada a una reducción de las emisiones de CO₂ y de contaminantes al medio ambiente. Con la reducción de emisiones de CO₂ lograda por la conducción eficiente, se contribuye a la resolución de los problemas del calentamiento de la atmósfera y al cumplimiento de los acuerdos internacionales en esta materia.
- **Mejora de la velocidad media.** Con la conducción eficiente se realizan las aceleraciones de una forma más efectiva, se evitan en mayor medida las detenciones y se aprovechan mejor las inercias que presenta el vehículo en su circulación.
- **Reducción del riesgo de accidentes.** La Conducción Eficiente incrementa la seguridad en la conducción, ya que estas técnicas de conducción están basadas en la previsión y en la anticipación. Esta mejora en la seguridad está constatada a través de distintos estudios realizados en países europeos donde lleva tiempo implantada, con reducciones en las cifras y gravedad de los accidentes de tráfico.
- **Mejora del confort.** Además de todos los sistemas de mejora del confort que incorporan los vehículos modernos, se puede hacer que el viaje sea aún más cómodo mediante la nueva Conducción Eficiente. Ante todo la Conducción Eficiente es un estilo de conducción impregnado de tranquilidad y sosiego, que reduce las tensiones y el estado de estrés producido por el tráfico al que están sometidos los conductores.



Es aconsejable realizar cursos de corta duración para conducción eficiente de camiones.

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

Al aplicar las siguientes claves se obtienen reducciones de consumo del orden del 10%, así como una reducción de emisiones al medio ambiente y una mejora en la seguridad de la conducción. Estas claves son:

TABLA 9

1. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR DEL VEHÍCULO:

Es de gran importancia el conocimiento por parte del conductor de los intervalos de revoluciones a los cuales el vehículo presenta el par máximo y la potencia máxima, así como de las curvas características propias del motor. En caso de no disponerse de esta información, conviene solicitarla al fabricante.

2. ARRANQUE DEL MOTOR:

Arrancar el motor sin pisar el acelerador. Colocar el disco-diagrama del tacógrafo e iniciar el movimiento del vehículo transcurrido un minuto (ya se tiene presión suficiente en los calderines).

3. INICIO DEL MOVIMIENTO DEL VEHÍCULO:

Se iniciará el movimiento del vehículo, con una relación de marchas acorde a cada situación y que no fuerce el funcionamiento del embrague de forma innecesaria. En fuertes pendientes ascendentes, se pondrá en movimiento el vehículo en 1ª corta o larga, según el vehículo y las condiciones de la vía.

4. REALIZACIÓN DE LOS CAMBIOS DE MARCHAS:

Realizar los cambios de marcha en la zona de par máximo de revoluciones del motor. Tras el cambio, el régimen del motor ha de quedar dentro de la zona de par máximo, es decir, dentro de la zona verde del cuentarrevoluciones. En condiciones favorables, se cambiará aproximadamente:

- Subiendo medias marchas, en torno a unas 1.400 r/min en motores grandes (de 10-12 litros).
- Subiendo marchas enteras, a unas 1.600 revoluciones en motores de 10-12 litros y entre las 1.700 y 1.900 r/min en motores de menores cilindradas.

Realizar los cambios de forma rápida y acelerar tras la realización del cambio. No se realizará el doble embrague.

5. SALTOS DE MARCHAS:

Cuando se puedan llevar a cabo, se podrán saltar marchas, tanto en los procesos de aceleración, como en los de deceleración.

6. SELECCIÓN DE LA MARCHA DE LA CIRCULACIÓN:

Procurar seleccionar la marcha que permita al motor funcionar en la parte baja del intervalo de revoluciones de par máximo. Esto se consigue circulando en las marchas más largas con el pedal acelerador pisado a las 3/4 partes de su recorrido. En cajas automáticas, se procurará que la caja sincronice la marcha más larga posible a través de la utilización del pedal acelerador. La circulación se desarrollará aproximadamente:

- En torno a unas 1.100-1.300 r/min en motores grandes (de 10-12 litros).
 - Entre unas 1.300-1.700 r/min en motores de menores cilindradas.
-

7. VELOCIDAD UNIFORME DE CIRCULACIÓN:

Intentar mantener una velocidad estable en la circulación evitando los acelerones y frenazos innecesarios. Aprovechar las inercias del vehículo.

8. DECELERACIONES:

Ante cualquier deceleración u obstáculo que presente la vía, se levantará el pie del pedal acelerador, dejando rodar el vehículo por su propia inercia con la marcha en la que se circula engranada, o si es posible, en marchas más largas. En estas condiciones el consumo de carburante del vehículo es nulo (hasta regímenes muy bajos de revoluciones cercanos al de ralentí). Utilizar más el freno motor y evitar el uso innecesario del freno de servicio.

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

9. PARADAS Y ESTACIONAMIENTOS:

En las paradas prolongadas (por encima de 2 minutos de duración), apagar el motor, salvo en los vehículos que dependan del continuo funcionamiento de su motor para el correcto uso de sus servicios auxiliares. En las paradas, una vez realizado el estacionamiento del vehículo, ya se ha dado tiempo suficiente para que baje el turbo de revoluciones y se apagará el motor sin mayor dilación.

10. PREVISIÓN Y ANTICIPACIÓN:

Prever las circunstancias del tráfico y, ante las mismas, anticipar las acciones a llevar a cabo. Dejar suficiente distancia de seguridad con el vehículo precedente acelerando un poco menos que éste, para luego tener que frenar también en menor medida. Controlar visualmente varios vehículos por delante del propio.

11. CIRCUNSTANCIAS EXIGENTES:

En la mayoría de las situaciones son aplicables las anteriores reglas, pero existen determinadas circunstancias en las que se requieren acciones específicas distintas para que la seguridad no se vea afectada. En las circunstancias que lo requieran, se acelerará el vehículo revolucionando su motor en mayor medida, realizando los cambios de marchas en el entorno del intervalo de revoluciones de potencia máxima y con el pedal acelerador a plena carga.

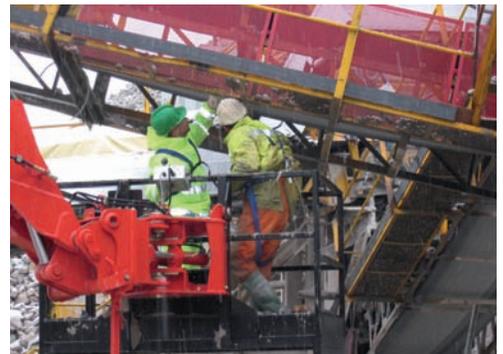
3.3.4 MANTENIMIENTO DE EQUIPOS

Un correcto mantenimiento consigue mejorar los estándares de calidad y reduce los costes energéticos. Si se realiza un mantenimiento preventivo conveniente, disminuirá la necesidad de un mantenimiento correctivo y como resultado se obtendrá un mejor rendimiento de la instalación o maquinaria, una reducción de costes y una mejor calidad de servicio.

Como consecuencia de un mal funcionamiento de la instalación o maquinaria se pueden producir consumos excesivos de energía, por ello se debe establecer un programa regular de mantenimiento que incluya:

a) Para el caso de los equipos eléctricos:

- Mantener en buen estado y correctamente ajustados los equipos de protección contra sobrecalentamiento y sobrecargas en los motores, especialmente en los más grandes (molinos).
- Revisar periódicamente las conexiones del motor, de su arrancador y resto de accesorios.
- Verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada. Una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento y en caso extremo ocasionar daños mayores en el motor y en la carga.
- Mantener en buen estado los medios de transmisión entre el motor y la carga, tales como bandas o engranajes.
- Mantener en buenas condiciones los cojinetes del motor.
- Realizar inspecciones periódicas en los motores, con objeto de verificar si se mantienen en condiciones apropiadas.
- Sustituir los diferentes elementos como pueden ser los filtros según las recomendaciones del fabricante.
- Verificar los controles de funcionamiento de forma regular.
- Verificar que todos los elementos del equipo funcionan correctamente.
- Verificar el calibrado de los controles.
- Revisar los equipos regularmente.
- Realizar periódicamente la comprobación del engrasado de los componentes móviles sujetos a rozamiento (ejes, rodillos, cojinetes, rodamientos, ...)



MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

b) Para el caso de los equipos combustibles:

Existen una serie de recomendaciones generales relativas al mantenimiento que disminuyen su consumo energético:

- Control de la presión adecuada en los neumáticos. Se recomienda el control de la presión de todos los neumáticos:
 - Diariamente de manera visual.
 - Cada 5.000 km midiendo su presión.
- Control del motor, debiéndose revisar:
 - Filtro de aceite. Su mal estado puede aumentar el consumo del motor en un 0.5%.
 - Filtro del aire, cuyo mal estado puede aumentar el consumo del vehículo en 1.5%.
 - Filtro de combustible. Su mal estado puede aumentar el consumo hasta 0.5%.



El aumento del consumo de combustible sin una causa que lo justifique, es un claro indicativo de algún problema en el motor, por lo que un control periódico del consumo consistente en la anotación de las cargas de combustible y los kilómetros recorridos, puede ayudar a detectar anomalías. Además, sería una gran ayuda para conocer en profundidad los consumos de gasoil.

Se debe tener en cuenta que las medidas propuestas, que en general serán beneficiosas para el conjunto de las empresas del sector, pueden tener particularidades que hagan que puedan no ser de recomendable aplicación en ciertas empresas en concreto, si bien ello no será lo habitual.

3.3.5 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PROCESOS PRODUCTIVOS

Al igual que en los casos anteriores, durante los diferentes etapas del proceso productivo de los áridos también se puede aplicar una serie de medidas, de tal manera que se disminuya el consumo energético con la consecuente disminución de costes.

3.3.5.1 Perforación y voladuras

- Regulación automática de bombas, motores y ventiladores de los equipos de captación de polvo.
- Mejorar el diseño para que el tamaño del todo uno se adecue a las características de la planta.
- Optimizar el consumo de explosivo / tonelada producida de forma que el consumo energético aguas abajo se el óptimo
- Disminuir los bolos para así evitar las operaciones complementarias, tanto en el frente (minimizando el empleo de martillos hidráulicos) como en la planta (evitando atascos y paradas).
- Un adecuado diseño de la voladura tendrá un efecto positivo en la geometría de la pila de material volado, minimizando el consumo en las operaciones de carga. Asimismo, una mayor fragmentación, permitirá reducir los costes energéticos de la carga y del transporte.
- Realizar las voladuras con buen tiempo, ya que la presencia de humedad elevada, hará que nuestro proceso productivo obtenga un menor rendimiento (atascos en las cribas, etc)

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

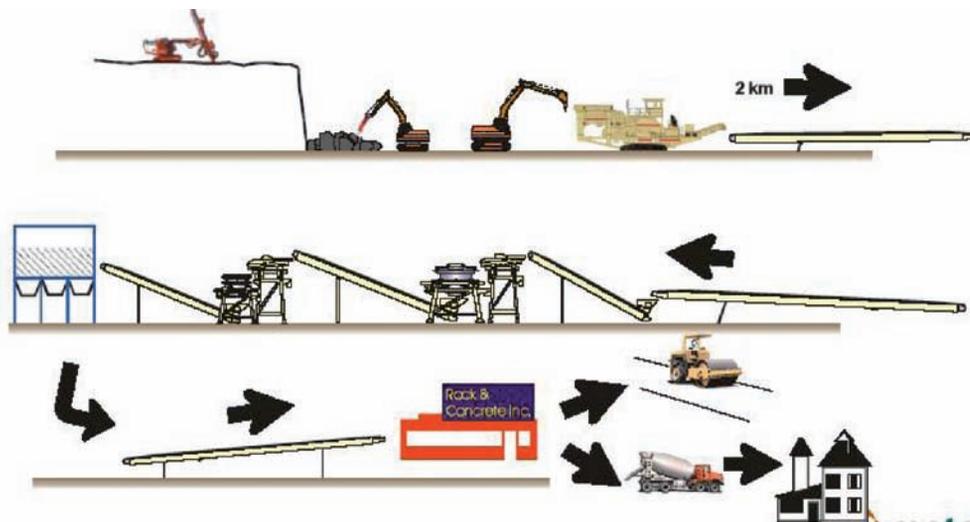
3.3.5.2 Sistema de explotación y diseño de explotaciones y pistas:

Un análisis adecuado en las repercusiones sobre el consumo de energía del sistema de explotación y del diseño de la propia explotación y de las pistas puede arrojar resultados muy positivos.

- a) Un sistema de explotación continuo con carga sobre trituradora móvil y transporte con cintas hasta la planta de tratamiento permite incidir directamente y con mayor eficiencia que los sistemas tradicionales discontinuos sobre los consumos energéticos asociados al transporte, que son los más relevantes.

FIGURA 18

SISTEMA CONTINUO



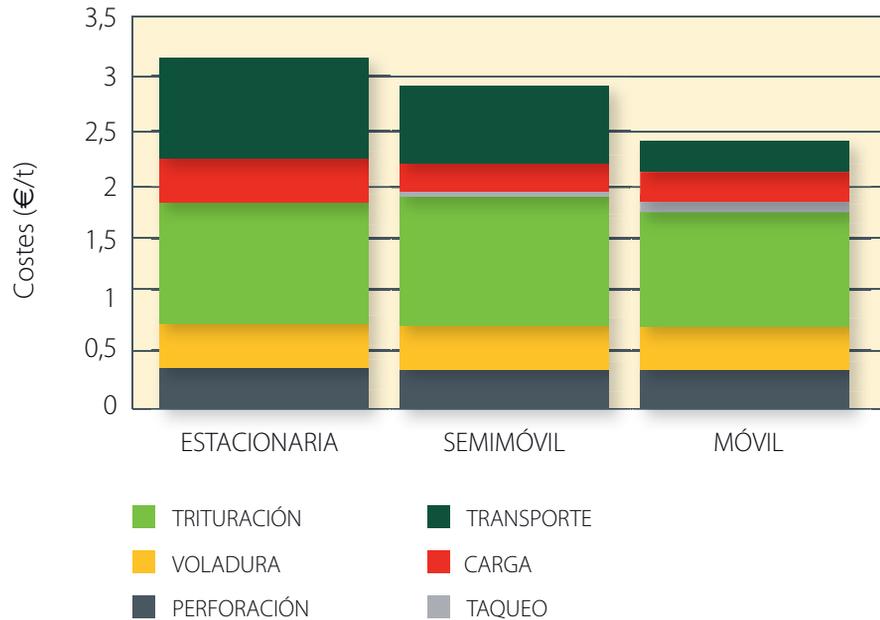
Fuente: METSO



Sistema Continuo. Fuente: Carlos López Jimeno

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

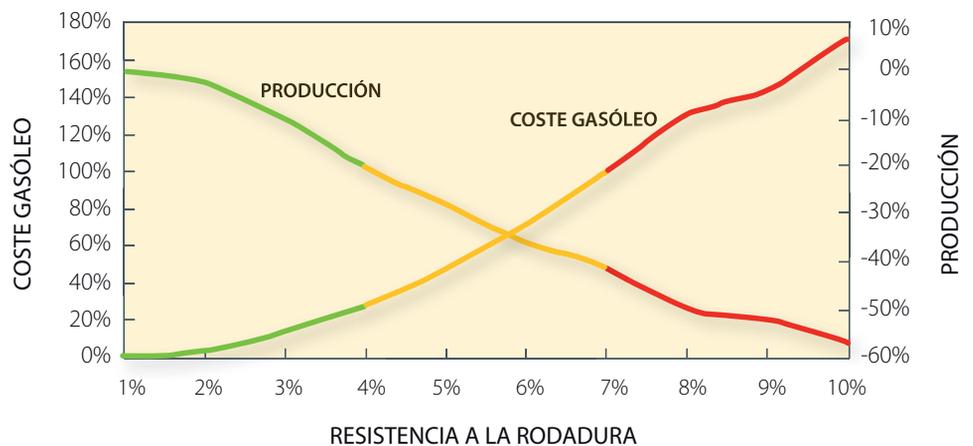
FIGURA 19 COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN



Fuente: Carlos López Jimeno

- b) La realización de un tratamiento selectivo previo en el frente de los materiales reduce las operaciones de transporte de estériles del frente a la planta y viceversa. También se aminora el flujo del material procesado en la planta y los rechazos en ésta.
- c) Una gestión integrada de los procesos de extracción / restauración permite minimizar el número de operaciones así como las distancias de transporte de materiales.
- d) Mejora del diseño de pistas (por ejemplo pendientes uniformes) y las características de la rodadura (mediante un mantenimiento intensivo).

FIGURA 20 INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA A LA RODADURA



Fuente: Carlos López Jimeno

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

Un 5% de aumento en la resistencia a la rodadura da lugar a una producción un 10% menor y a un aumento de los costes de un 35%.



Fuente: Carlos López Jimeno

FIGURA 21 EFECTOS DEL TRAZADO EN ALZADO DE LAS PISTAS



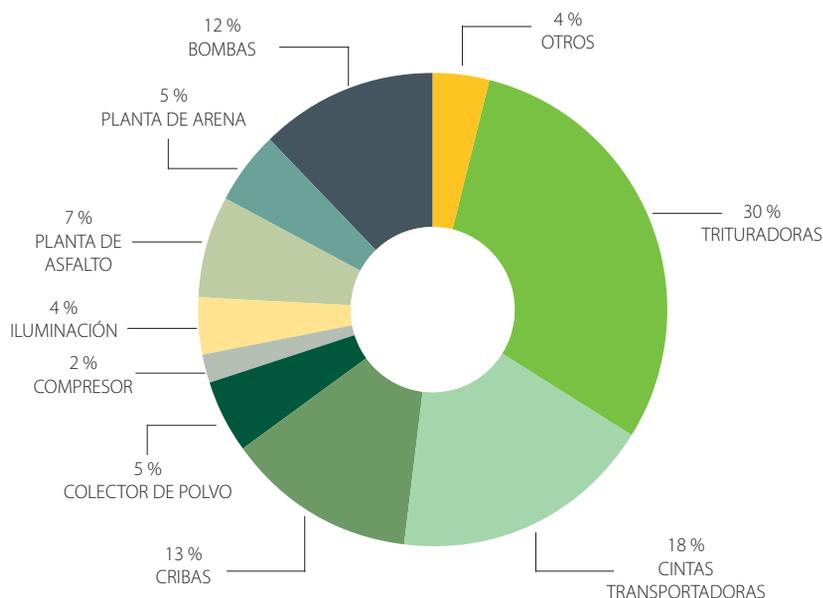
3.3.5.3 Planta de trituración y molienda

El ahorro de energía en la planta se puede conseguir adoptando una combinación de las siguientes medidas:

- Transformación de circuito de molienda abierto a circuito cerrado.
- Reemplazamiento de los separadores ineficientes por otros más modernos, de alta eficiencia (para molinos de bolas y trituradoras giratorias).
- Instalación de sistemas de pre-trituración/molienda para mejorar el rendimiento de los molinos de bolas.
- Sustitución de molinos de bolas ineficientes por máquinas de alto rendimiento (trituradora giratoria de eje vertical y horizontal, etc).
- Optimización del interior de los molinos (forros, nivel y distribución de tamaño).
- Optimización de los parámetros del molino (flujo de aire, sistema de carga y descarga, velocidad del molino, etc.).
- Instalación de controladores de velocidad variable para los molinos, separadores y filtros.
- Mejora de la instrumentación y el control.
- Instalación de un sistema de control.
- Mejora del laboratorio de control de calidad.

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

FIGURA 22 CONSUMO ENERGÉTICO EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO



Fuente: Carlos López Jimeno

Modificaciones en planta



Transformación de circuito de molienda abierto a circuito cerrado

En numerosas instalaciones antiguas, el molino está configurado para trabajar en circuito abierto, por lo que el material pasa por el molino una sola vez. Para asegurar que no queda ningún material por encima del tamaño de producto deseado, suele haber una tendencia a la sobremolienda, que puede ser ineficiente. La presencia de finos en el molino además, dificulta la molienda del material más grueso.

Una molienda ineficaz puede incrementar la temperatura del producto, provocando la formación de capas sobre los forros.

Un circuito de molienda abierto tiene un consumo de energía específico mayor que uno cerrado.

Con el circuito de molienda cerrado, los finos son extraídos del circuito a medida que se van produciendo, evitando la sobremolienda, mientras que los materiales de gran tamaño son reciclados por el circuito para una posterior molienda.

Además en numerosos casos, se observa que las plantas están diseñadas para producir un número muy alto de productos diferentes. Se recomienda hacer un estudio de costes energéticos por tipo de producto, para priorizar los más eficientes (siempre que se posible) y eliminar (o revisar su proceso productivo) aquellos más ineficientes.

Para realizar la separación de los finos, existen varios tipos de separadores que pueden ser usados para clasificar la descarga.

MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

Reemplazamiento de los separadores ineficientes por los de alta eficiencia

En los circuitos cerrados, los separadores tienen un gran efecto sobre la eficiencia energética del circuito de molienda. Los separadores ineficientes permiten el retorno de los finos al circuito, provocando la formación de ultrafinos, y por lo tanto, la consiguiente pérdida de eficiencia del circuito de molienda.

Instalación de sistemas de pre-trituración/molienda para mejorar el rendimiento de los molinos de bolas

La instalación de una trituradora de eje vertical o giratoria previa al molino de bolas puede producir:

- Ahorro de energía (5-20% de reducción en el consumo total de energía eléctrica de la planta);
- Incremento de la capacidad (15-60% dependiendo del tipo de circuito).

Sustitución de molinos de bolas ineficientes por máquinas de alto rendimiento (trituradora giratoria vertical y horizontal, etc.)

En base a los requisitos de producción, los molinos de bolas pueden ser sustituidos por otros sistemas de molienda más apropiados. Algunos ejemplos de posible sustitución son:

- Trituradora giratoria de eje horizontal:
Bajo consumo energético, poco ruido y menos espacio requerido. Ahorro del 30-50% respecto al molino de bolas.
Ahorro de energía superior al 20% respecto a un molino de bolas convencional.
- Molino centrífugo:
Usa fuerza centrífuga para empujar el material contra la superficie de molienda periférica. También tienen un ahorro de energía aproximado del 20%.

Optimización del interior de los molinos y de sus parámetros

Los parámetros del molino que influyen en el rendimiento de la molienda son:

- Diseño y estado de los forros
- Superficie libre y capacidad de transferencia de los diafragmas
- Ajustes de carga y descarga
- Número y longitud de las cámaras de molienda
- Carga y distribución del tamaño
- Velocidad del molino
- Eficiencia del clasificador



MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

Uso de aditivos en la molienda

La zona de molienda y los forros de la trituradora están permanentemente cubiertos de polvo fino, reduciendo la efectividad de los impactos en el material y dificultando el flujo de material en el molino.

Una posible solución a este problema es la adición de pequeñas cantidades de ciertos productos químicos (por ejemplo: propileno/etileno glicol, amino acetato).

Los aditivos pueden aumentar la productividad del molino en un 50%, especialmente cuando se trata de finos. El coste de estos aditivos es admisible cuando se alcanza un ahorro energético significativo.

Instalación de controladores de velocidad variable en los ventiladores

Los ventiladores usados para crear corriente en las trituradoras giratorias y en el transporte del producto a un colector de polvo, puede consumir tanta energía como la trituradora.

La instalación de controladores de velocidad permite a la planta funcionar a la velocidad óptima sin malgastar potencia. Además, un ventilador de álabes radiales rectos, poco eficiente, puede ser sustituido por sistemas más eficientes como por ejemplo los álabes de diseño curvado.



Sistemas de carga y transporte energéticamente eficientes

Los equipos de carga se usan para transportar material dentro de la planta. En muchos casos son cintas transportadoras, que tienen un alto consumo energético. Éstas últimas podrían ser sustituidas por elevadores de cangilones o tornillos sin fin, que tienen un menor consumo.

Mejoras en la instrumentación y control

Al mejorar los parámetros del circuito de trituración y molienda, es necesario también disponer de unos buenos aparatos de control, para monitorizar correctamente estos parámetros y garantizar su funcionamiento eficiente.

Los siguientes parámetros afectan al rendimiento, por lo que deben ser medidos y controlados:

- Ratio de alimentación del circuito (tonelada/hora)
- Potencia del molino (kW)
- Volumen de aire de barrido (Nm^3)
- Temperatura del aire de barrido ($^{\circ}\text{C}$)
- Temperatura del material saliente del molino ($^{\circ}\text{C}$)
- Granulometría del material saliente del molino (%)
- Potencia del motor y los ventiladores (kW)
- Caída de presión a lo largo del molino (mbar)
- Caída de presión a lo largo del separador (mbar)
- Carga de recirculación (toneladas/hora)
- Potencia del ventilador del molino (kW)



MEJORA BUENAS PRÁCTICAS

Mejora del laboratorio de control de calidad

La eficiencia de una planta de molienda, implica un análisis regular de los materiales de entrada, productos intermedios y productos finales. Un correcto análisis exhaustivo de éstos, ofrece información para controlar el proceso.

El control de granulometría del producto puede ser automatizado mediante analizadores de láser del tamaño de grano, que ofrecen más información de las características del producto, y crean la curva granulométrica. El análisis instantáneo permite corregir las desviaciones de funcionamiento, previniendo recirculaciones o productos fuera de especificaciones.



3.3.5.4 Todos los procesos

- Realizar un correcto mantenimiento de la maquinaria según fabricante.
- Desconectar todas las luces y aparatos eléctricos tras el cese de la actividad.
- Utilizar formas de iluminación con mayor rendimiento y duración (fluorescentes y bombillas de ahorro energético) en lugar de bombillas convencionales.
- Moderar la intensidad de la luz en las zonas de menor necesidad, como zonas en las que no se esté trabajando y revisar continuamente los niveles de iluminación.
- Instalar interruptores con temporizador en las zonas higiénico-sanitarias; así se evitará un gasto de luz innecesario.
- Realizar un control eficiente de la producción.
- Dimensionar los equipos de acuerdo con las cargas a manipular y a transportar y con los trayectos a efectuar.
- Emplear equipos adaptados a las condiciones del terreno en el que han de desenvolverse.
- Evitar el trabajo en vacío de equipos.
- Realizar una selección de la materia en el frente evitando el aporte de estériles a la planta.
- Instalar stocks intermedios para asegurar un flujo continuo y uniforme, sin picos ni valles.
- Desarrollar una herramienta que permita reportar y controlar la salida y llegada de los camiones entre dos puntos, gestionar las incidencias y reportar a los operarios.
- Realizar una planificación estratégica por líneas de producto y de servicios.
- Realizar periódicamente una comparativa entre la situación real y lo expuesto en el plan de labores, para conocer las desviaciones e identificar causas.
- Realizar una correcta planificación de los distintos procesos.
- Realizar unas instrucciones de trabajo, formación y sensibilización del personal.
- Informar, formar y sensibilizar a los trabajadores para que participen activamente.