



Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético

INDUSTRIAS CEMENTERAS

Dirección General de Eficiencia Energética



PERÚ

Ministerio
de Energía y Minas

EL PERÚ PRIMERO



Guía de Orientación
del Uso Eficiente de la Energía y
de Diagnóstico Energético

**INDUSTRIAS
CEMENTERAS**

INDICE

1. PRESENTACIÓN	5
2. OBJETIVO	7
2.1 Objetivos generales	8
2.2 Objetivos específicos	8
3. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA EN EL SECTOR	9
3.1 Proceso productivo típico	11
3.2 Fuentes y costos de energía	13
3.3 Principales equipos consumidores de energía	22
4. EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO COMO HERRAMIENTA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	25
4.1 Objetivos	27
4.2 Etapas de elaboración del diagnóstico energético	28
4.2.1 Etapa 1: Recopilación de Información Preliminar	28
4.2.2 Etapa 2: Revisión de la Facturación de Energéticos	28
4.2.3 Etapa 3: Recorrido de las instalaciones	29
4.2.4 Etapa 4: Campaña de Mediciones	29
4.2.4.1. Área térmica	30
4.2.4.2. Área eléctrica	30
4.2.5 Etapa 5: Evaluación de Registros - Línea base energética: consumos y costos de la energía	32
4.2.6 Etapa 6: Identificación de Oportunidades de Mejoras en Eficiencia Energética	33
4.2.7 Etapa 7: Evaluación técnica-económica-financiera de las Mejoras planteadas	33
4.2.7.1. Evaluación técnica-económica	33
4.2.7.2. Análisis de sensibilidad de los indicadores económico-financiero	36
4.2.7.3. Alternativas de financiamiento convencional	37
4.2.8 Etapa 8: Informe de Auditoría Energética	39
4.2.9 Etapa 9: Propuesta de Implementación de Mejoras	39
4.3 Seguimiento y monitoreo de las mejoras implementadas	40
5. USOS INADECUADOS DE LA ENERGÍA Y LAS BUENAS PRÁCTICAS PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA	43
5.1 Buenas Prácticas (BP) para evitar usos inadecuados de la Energía	44
5.2 Oportunidades de mejoramiento u optimización	54
5.3 Nuevas Tecnologías y su contribución en la Eficiencia Energética	55

6. IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA	63
6.1 Formación de un Comité de Gestión de la Energía	64
6.2 Sistema de Gestión de la Energía (SGE) y la importancia de contar con la Certificación ISO 50001	65
6.3 El etiquetado como garantía de compra eficiente	71
7. CASOS EXITOSOS	73
7.1 Caso 1	74
7.2 Caso 2	79
7.3 Caso 3	81
8. EL CONSUMO DE ENERGÍA Y EL IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO	85
8.1 El impacto atmosférico del consumo de energía	88
8.2 El uso eficiente de la energía como compromiso mundial para la lucha contra el cambio climático	89
8.3 Oportunidades de los compromisos mundiales	89
8.3.1 Mercado regulado - El Protocolo de Kioto	90
8.3.2 Mercado Voluntario de Carbono	91
8.3.3 Caso del Perú	91
8.4 Financiamiento climático	93
9. BIBLIOGRAFÍA	95
10. GLOSARIO	99
11. ANEXOS	103
Anexo 1. Pliego Tarifario	104
Pliego Tarifario Máximo del Servicio de Electricidad	104
Tarifas de Gas Natural	107
Tarifas de agua	108



PRESENTACIÓN



1

PRESENTACIÓN

La presente es una Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético correspondiente a una industria de cemento, cuyo fin es promover medidas para el uso eficiente de energía y su debida implementación, contribuyendo a reducir el consumo energético, promover la competitividad empresarial y también reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En la actualización de la Guía del Sector de la Industria del Cemento, se ha considerado las nuevas tecnologías disponibles en el mercado promoviendo así la competitividad de las empresas, igualmente se han considerado las nuevas regulaciones y estándares técnicos, costos actuales, oportunidades financieras y la capacidad técnica necesaria del personal a cargo de la implementación y el seguimiento.

Asimismo se ha puesto énfasis en el consumo de energía y el rol de la eficiencia energética para reducir el impacto ambiental, y aprovechar las oportunidades de los beneficios ambientales que surgen como consecuencia de los compromisos del país ante el Cambio Climático.

Con fecha 8 de septiembre de 2000, se promulgó la Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía Ley N° 27345, en la que se fomenta el uso eficiente con la finalidad de asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, promover la competitividad y reducir el impacto ambiental generado por el consumo de energía. También se indica las facultades que tienen las

autoridades competentes para cumplir con estos objetivos.

Asimismo, el 23 de octubre del 2007, se emite el Reglamento de la Ley, a través del Decreto Supremo N° 053-2007-EM, en el cual se formula las disposiciones para promover el Uso Eficiente de la Energía en el país.

A través de las diferentes normativas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas, uno de los aspectos importantes es promover, la "Formación de una cultura de uso eficiente de la energía", para lo cual se procedió a la "Elaboración de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético", con el objetivo de establecer los procedimientos y/o metodologías para orientar, capacitar, evaluar y cuantificar el uso racional de los recursos energéticos en todas sus formas, para su aplicación por los consumidores finales en los diferentes sectores industriales de consumo de energía de nuestro país.

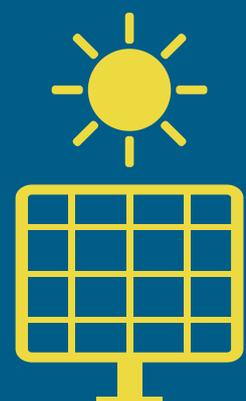
La industria del sector cementos en su línea de producción cuenta con diferentes equipos consumidores de energía tanto eléctrica como térmica, de acuerdo a los requerimientos de su proceso productivo. Es por ello, que cuenta con un potencial significativo de ahorro de energía en sus diferentes etapas de producción.

En el desarrollo de la presente guía, se muestran casos exitosos de empresas que han implementado mejoras energéticas y han logrado obtener considerables ahorros de energía con beneficios económicos importantes.





OBJETIVO



2 OBJETIVO

El objetivo de la guía es brindar una herramienta útil y práctica para la óptima implementación de programas de gestión energética y diagnósticos energéticos que permitan llevar a cabo la identificación e implementación de mejoras sostenibles aplicables a la industria cementera.

El público objetivo al cual está dirigida la guía son principalmente técnicos de mantenimiento, supervisores del proceso productivo, ingenieros de planta, consultores desarrolladores de proyectos de eficiencia energética.



3

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA EN EL SECTOR



3

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA EN EL SECTOR

La industria cementera procesa como materia prima para obtener el cemento piedra caliza, arcilla y hierro, las que se mezclan, se chancan, trituran y muelen. Se homogeniza la mezcla molida y se la lleva a un proceso de pre calcinación en un intercambiador de calor en contracorriente se calcinan. La mezcla pre calcinada ingresa a un horno rotativo, en el que se desarrollan reacciones físico-químicas, calcinándose la mezcla hasta el punto fundente, dando origen al Clinker.

El Clinker se somete a un proceso de enfriamiento rápido y luego se muele agregando una pequeña proporción de yeso (sulfato de calcio), con la molienda se obtiene el cemento como un producto finamente pulverizado. Luego vienen los procesos de almacenado, envasado, paletizado y despacho.

Hay oportunidades de mejoras en la eficiencia energética por reducción de pérdidas por convección y radiación en la superficie del horno y del pre calentador en el proceso de clinkerización,

Por ello las mejoras en eficiencia energética en este sector industrial permiten reducir significativamente los consumos específicos de energía (cantidad de energía que se consume para producir una unidad de producto terminado) y los costos

específicos de energía asociados a este consumo (costo de la energía consumida para producir una unidad de producto terminado). Estas mejoras son acciones calificadas como ecoeficientes, al lograr producir lo mismo con menor consumo de energía o producir más con el mismo consumo de energía; acciones que están en sintonía con los objetivos empresariales de productividad y competitividad.

La reducción en la demanda de energía se logra implementando equipos más eficientes, sustituyendo combustibles y materias primas, para abaratar los costos de producción.

La comparación (benchmarking) con los consumos específicos estándares de empresas cementeras eficientes en el mundo, permite determinar cuan competitiva es la empresa cementera en el mercado global.

La eficiencia energética tiene doble efecto, pues por un lado se reducen los consumos de energéticos y los costos asociados a dichos consumos y por otro lado la empresa reduce el impacto ambiental de sus operaciones por las emisiones de CO₂ evitadas, en un escenario de responsabilidad social empresarial (RSE), que mejora su posicionamiento en el mercado global.¹

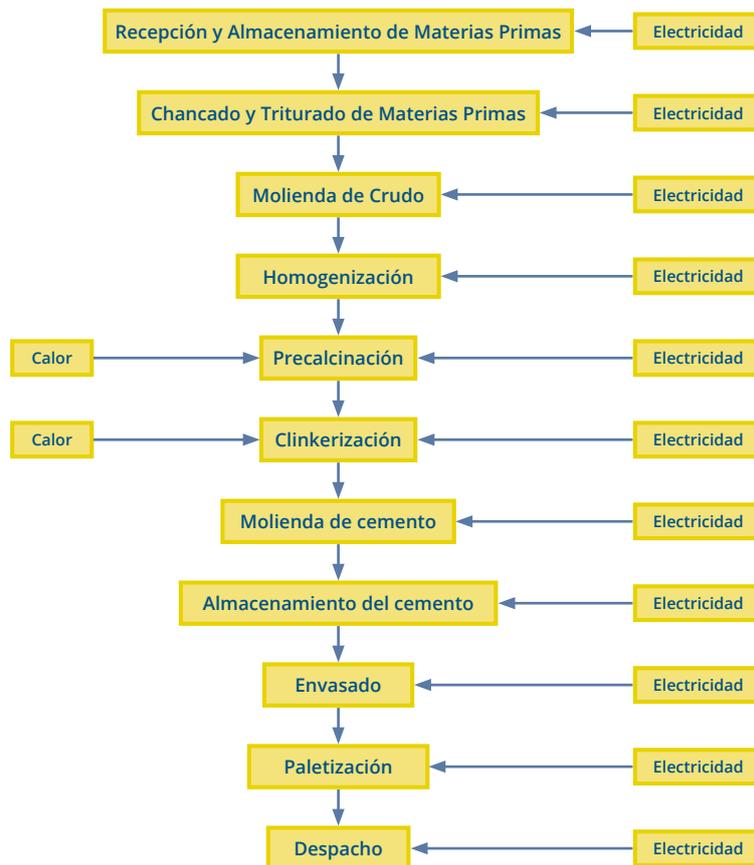


¹ La industria del cemento es responsable de cerca del 5% del total de las emisiones de CO₂ generadas por el hombre. Referencia : Federación Interamericana del Cemento-FICEM, http://www.ficem.org/estadisticas/informe_estadistico_2013.pdf

3.1 Proceso productivo típico

En la industria cementera los procesos productivos típicos se presentan en la Figura 1.

Figura 1.
Proceso productivo típico-Industria cementera



Fuente: Elaboración propia - FONAM

Proceso de fabricación del cemento

El proceso de fabricación del cemento comprende las siguientes etapas principales:

- **Recepción y almacenamiento de materias primas**

Se transportan las materias primas caliza, arcilla y hierro en camiones a la planta industrial. Se reciben y almacenan en silos.

- **Chancado y trituración de materias primas**

La materia prima es sometida a un proceso de chancado y triturado para reducirla de tamaño y pueda así ser procesada por los molinos de crudo.

- **Molienda del crudo**

La materia prima que ha sido chancada y triturada ingresa a los molinos en los que es reducida a polvos finos.

- **Homogenización**

Es el proceso en el que las materias primas utilizadas para la fabricación del clínker deben cumplir unas especificaciones definidas, antes de proceder a su cocción para lo cual es necesario realizar ajustes. La etapa de homogenización permite la mezcla proporcionada y el contacto íntimo de los componentes del crudo. Puede hacerse por vía húmeda o por vía seca, dependiendo de si se usan corrientes de aire o agua para mezclar los materiales.

En el proceso húmedo la mezcla de materia prima es bombeada a balsas de homogenización. En el proceso seco, la materia prima es homogenizada en patios de materia prima con el uso de maquinarias especiales. En este proceso el control químico es más eficiente y el consumo de energía es menor, ya que al no tener que eliminar el agua añadida con el objeto de mezclar los materiales, los hornos son más cortos y el clínker requiere menos tiempo sometido a las altas temperaturas.

- **Pre calcinación**

La mezcla de materia prima es sometida a altas temperaturas para ser precalcinada con el objeto de disminuir la variabilidad de la composición química del material, obtener una mayor uniformidad en la mezcla y mejorar el uso de las materias primas no homogéneas.

- **Clinkerización**

La materia prima en polvo pre calcinada se introduce en un horno rotatorio en el que alcanza una temperatura de

aproximadamente 1450°C, obteniéndose el clínker, cuyos componentes confieren al cemento la actividad hidráulica. El clínker, a la salida del horno, se somete a un proceso de enfriamiento con el fin de que no se reviertan las reacciones que acaban de producirse. Este proceso se hace mediante aire que se calienta y posteriormente se utilizará en la combustión.

- **Molienda del cemento**

El clínker obtenido, independientemente del proceso utilizado en la etapa de homogenización, es molido con pequeñas cantidades de yeso para finalmente obtener cemento.

- **Almacenamiento del cemento**

Se almacena bajo techo para ser despachado a granel o para ser envasado en bolsas.

- **Envasado**

En este proceso se envasa el cemento en bolsas de papel duro kraft con capacidad de 42,5 kg.²

- **Paletización**

Las bolsas se colocan sobre palets para permitir su almacenamiento temporal y facilitar la clasificación por lotes de producción y el despacho.

- **Despacho**

Puede ser a granel en camiones con contenedores apropiados o en bolsas de cemento se suben a los camiones para la entrega a los clientes.

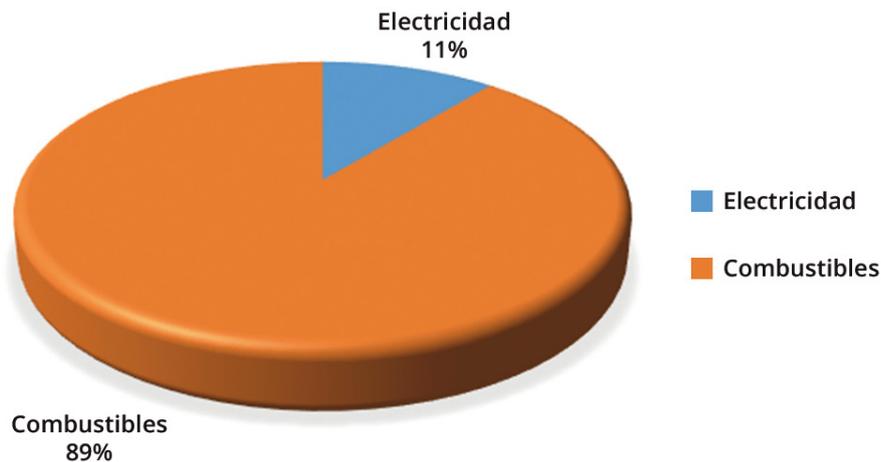


2 Según la Norma Técnica Peruana 334.090, el cemento embolsado deberá tener un contenido neto de 42.5 Kg

3.2 Fuentes y costos de energía

En la industria cementera se utiliza electricidad y combustibles como fuentes de energía para el proceso productivo y áreas auxiliares. En la Figura 2 se presenta la distribución porcentual del consumo de energía eléctrica y térmica en una planta típica.

Figura 2.
Distribución del consumo de energía en industria cementera



Elaboración FONAM, Fuente: MINEM

En la Tabla 1 se muestra la distribución porcentual del consumo de energía eléctrica en una planta cementera.

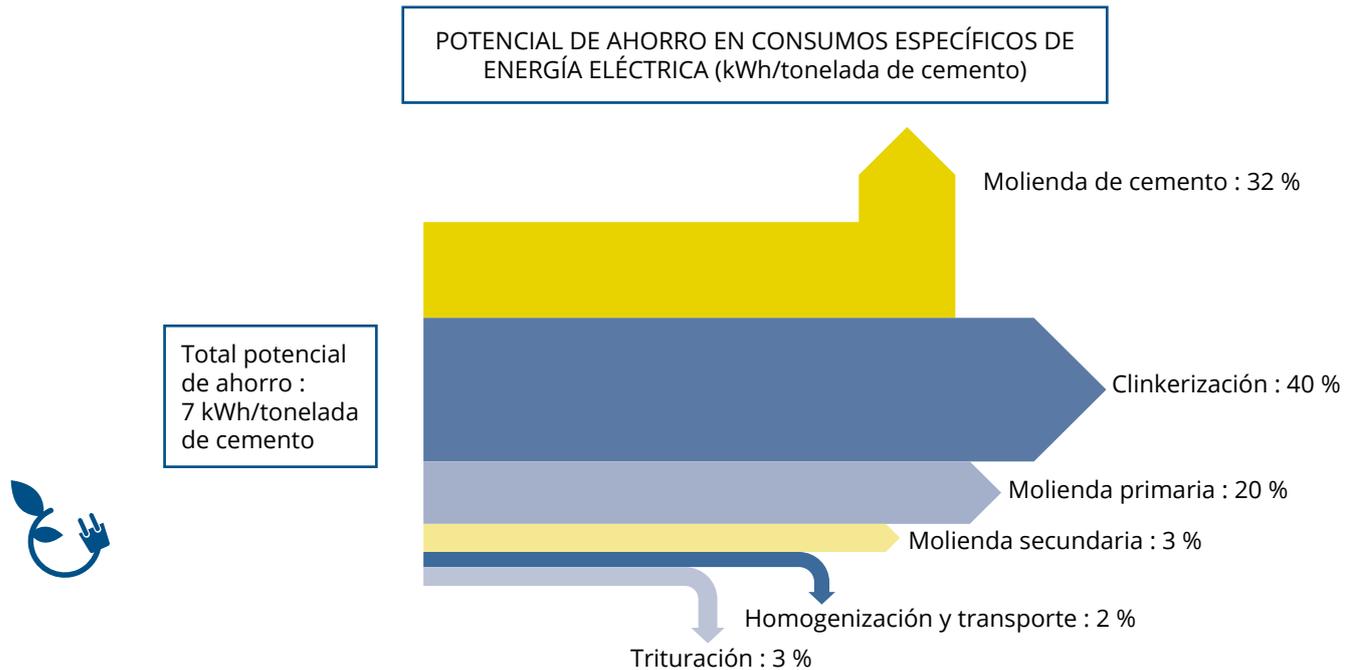
Tabla 1.
Distribución del consumo de energía eléctrica en una planta cementera

It	Proceso	Consumo de energía eléctrica (%)
1	Preparación de las materias primas	3
2	Chancado, triturado y molienda del crudo	32
3	Homogenización, precalcinado y clinkerización	21
4	Molienda de cemento, envasado	41
5	Servicios generales	2
6	Iluminación	1

Fuente: UPME/Universidad del Atlántico/ Universidad Autónoma de Occidente, Colombia
<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/cemento.pdf>

En la Figura 3 se muestra en un Diagrama de Sankey la distribución porcentual del consumo de energía eléctrica en una planta cementera. Se observa que en el proceso de molienda del cemento y envasado se consume el 41% de la energía eléctrica de la planta, a su vez los procesos de trituración y molienda del crudo representan el 32% del consumo.

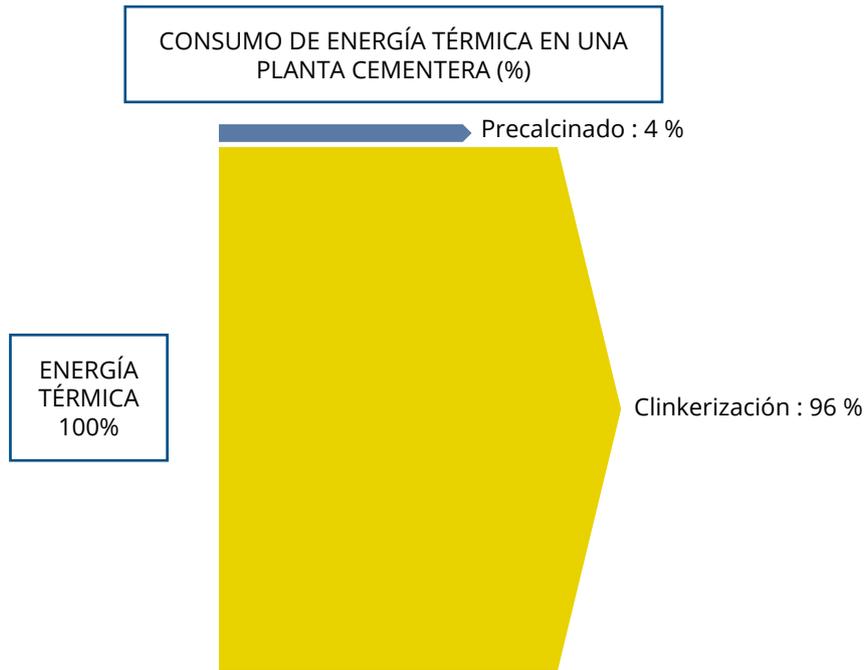
Figura 3.
Distribución del consumo de energía eléctrica en una planta cementera



Fuente: UPME/Universidad del Atlántico/ Universidad Autónoma de Occidente, Colombia
<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/cemento.pdf>

En la Figura 4 se muestra en un Diagrama de Sankey la distribución porcentual del consumo de energía térmica (combustibles) en una planta cementera. Los procesos que consumen energía térmica son precalcinación (4%) y clinkerización (96%).

Figura 4.
Distribución del consumo de energía térmica en una planta cementera

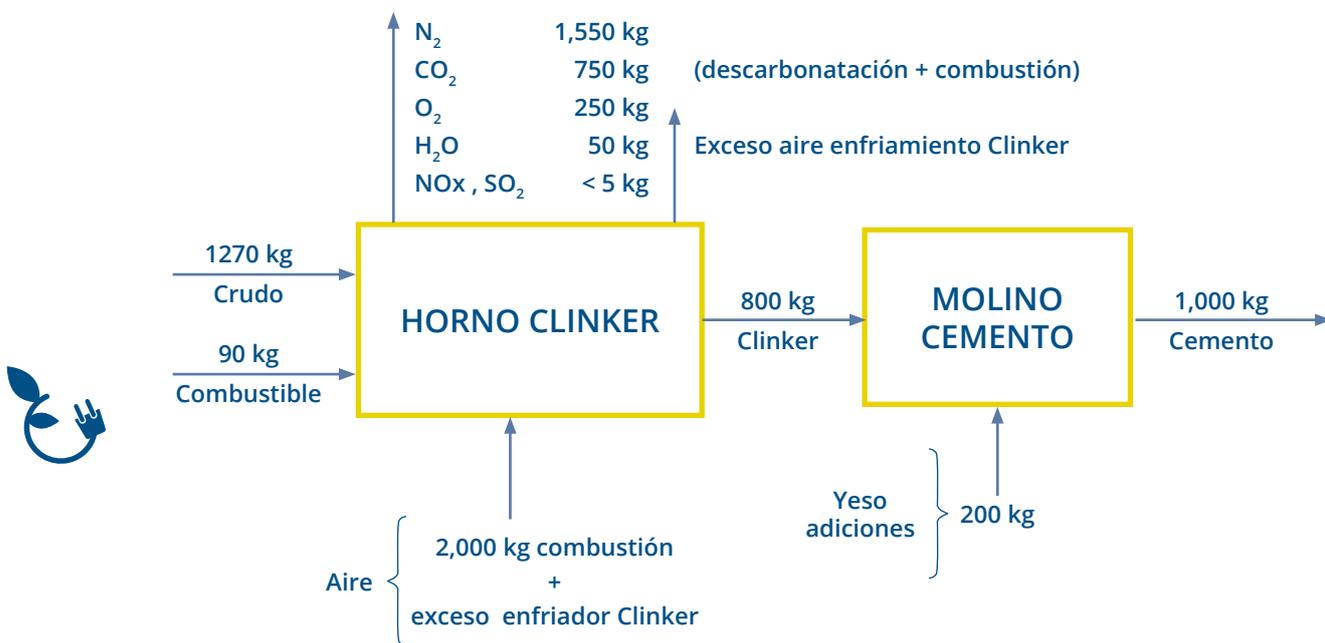


Fuente: UPME/Universidad del Atlántico/ Universidad Autónoma de Occidente, Colombia
<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/cemento.pdf>

La Figura 5 muestra un balance de masas típico para la producción de una tonelada de cemento gris con el proceso vía seca, en una fábrica que utiliza petróleo residual como combustible.

Figura 5.
Balance de masas para la producción de una tonelada de cemento para una planta que utiliza petróleo residual como combustible

Relación Clinker/Cemento = 0,8
 Consumo energético = 850 kcal/kg Clinker
 Combustible potencia Calorífica = 7.500 kcal/kg



Fuente: Oficemen

Consumo de energía

La mayor parte del consumo energético para la fabricación de cemento se concentra en el precalcinado y en la clinkerización de las materias primas en el horno, operación que consume cerca del 90 % de la energía total consumida en la planta.

La energía eléctrica se consume en su mayor parte en las operaciones de molienda, tanto de materias primas como de cemento, que representan aproximadamente el 75 % de la energía

eléctrica total consumida. La impulsión de gases y la manipulación y transporte de materiales suman prácticamente el 25 % restante. Ver Figura 3.

Los costos energéticos —combustibles y electricidad— están en alrededor al 30 % de los costos de operación-, en los dos componentes térmico y eléctrico.

El proceso de cocción de las materias primas requiere de un aporte energético teórico (reacciones químicas endotérmicas) de 1.700 a 1.800 MJ/t de clinker.

Impacto energético, ambiental y económico acorde con la utilización de diferentes tipos de combustible en la industria cementera

La industria del cemento consume gran cantidad de combustibles por los requerimientos de energía térmica en el clínker principalmente. Por ello el tipo de combustible que se utilice tiene impactos significativos en los aspectos energéticos, económicos y ambientales. En el Perú las empresas cementeras utilizan petróleo residual SSF 500, carbón y gas natural. Algunas empresas han cambiado su matriz energética de carbón y/o petróleo a gas natural, implementando quemadores duales (carbón pulverizado/gas natural). El Perú dispone de ingentes recursos de carbón antracítico, pero su uso como combustible no se ha generalizado. Algunas empresas cementeras han realizado pruebas en el horno de clínkerización con carbón antracítico o en mezcla con el bituminoso, pero los resultados no han sido considerados satisfactorios. El carbón antracítico tiene dificultades para iniciar la ignición por su bajo contenido de volátiles, lo que limita su reactividad; asimismo una vez que arde lo hace lentamente con llamas muy cortas e inestables. Tiene un menor contenido de humedad, elevado porcentaje de carbono fijo y menor poder calorífico que el carbón bituminoso.

Dada la disponibilidad de carbón antracítico en el país, sería conveniente promover proyectos de investigación con participación de universidades nacionales para que aplicando nuevas tecnologías innovativas se puedan superar los problemas para poder aprovechar el carbón antracítico nacional en la fabricación de cemento.

El gas natural tiene un menor precio en el mercado por unidad calórica, lo que permite una reducción significativa en los costos de energía en la planta mejorando la competitividad (30 % de ahorro aproximadamente si se sustituye petróleo por gas natural), se logra mejoras en los procesos productivos, reduciendo la contaminación ambiental al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir la emisión de particulados. El horno de clínker se torna más eficiente, se prolonga su vida útil, se reducen los costos por mantenimiento (menor impacto por corrosión, por limpieza de quemadores, por derrames potenciales), menor consumo de energía térmica al no haber precalentamiento de combustibles, menor consumo de energía eléctrica por bombeo de petróleo. Se constituye en un factor importante para la adaptación al cambio climático, genera mejor imagen institucional para posicionarse en el mercado global.

El gas natural tiene el menor factor de emisión y el menor Índice de Nocividad de Combustibles (INC).

Hay un menor costo logístico al no tener que mantener stocks de petróleo para su posterior uso, lo que redonda en menores costos financieros, pues el gas natural llega al usuario por la red de ductos, se paga después de su consumo y no antes, como ocurre con el petróleo, asimismo se pueden obtener créditos de carbono por las emisiones evitadas al cambiar la matriz energética.

Energías alternativas en la industria cementera

El uso de energías alternativas en el clínker es una opción técnico-económica con influencia positiva en el medio ambiente



al reducir las emisiones de CO₂, reducir la dependencia energética de combustibles fósiles o tradicionales.

En el horno de una cementera se pueden quemar residuos -como combustibles alternativos- para producir calor y complementariamente energía eléctrica, es una operación que se denomina coprocesado. Los residuos urbanos, industriales y comerciales no biodegradables como por ejemplo los embalajes, residuos de la biomasa, residuos de la agroindustria, llantas usadas. Asimismo biomasa como la cascarilla de arroz, cáscaras de café, de maní o girasol, bagazo de la industria azucarera, residuo de la nuez de palma aceitera, entre otros. Esto redundaría en menores costos por energía térmica en la planta y en la reducción de emisiones de CO₂.



Se pueden quemar residuos peligrosos y tóxicos como los residuos hospitalarios y biocontaminados, los aceites usados, las grasas de animales y harinas potencialmente contaminadas, plásticos, solventes, pegamentos. Es una manera productiva de aprovechar los poderes caloríficos de los residuos, los que de otra manera irían a los rellenos sanitarios o a celdas de confinación, ejerciendo presión e impactos negativos al ambiente.

Los residuos admitidos como combustible y/o materia prima alternativa deben aportar un valor añadido al horno de cemento en términos de poder calorífico de la parte orgánica y/o valor material de la parte mineral. Algunos combustibles alternativos cumplen simultáneamente ambos requisitos. Según las características del proceso de producción, la industria cementera puede coprocesar combustibles alternativos que tengan

un importante poder calorífico (aceites usados), materias primas alternativas que contengan componentes minerales adecuados para la producción de clínker o cemento (suelos contaminados), materiales que aporten poder calorífico y proporcionen al mismo tiempo, componentes minerales (lodos de la industria papelera y llantas usadas).

Se debe tener en cuenta diversos factores como la composición química del producto final (cemento), así como el impacto medioambiental en el proceso de producción. Algunos residuos no son apropiados como baterías enteras y los residuos municipales no tratados. Debe implementarse un sistema de control de calidad para todos los materiales utilizados, de modo que el coprocesado se lleve a cabo en un escenario ambientalmente seguro, manteniendo la seguridad y salud de los trabajadores y vecinos, la calidad del producto final, con un proceso de producción ininterrumpido. Los materiales alternativos usados por la industria cementera provienen exclusivamente de residuos seleccionados. Normalmente, éstos necesitan un pretratamiento (secado, triturado, mezclado, molienda y homogeneización) y un control de calidad adecuado, como parte integral de la operación. En algunos casos los residuos son preparados por proveedores externos y expertos en tratamiento de residuos antes de ser utilizados como combustible alternativo.

El uso de combustibles alternativos en la industria cementera tiene dos características de particular importancia: las condiciones de la combustión (alta temperatura con alto tiempo de permanencia y atmósfera oxidante) y un ambiente natural alcalino de materias primas. Estos escenarios son

particularmente favorables para asegurar un alto nivel de destrucción de sustancias contaminantes, tales como las dioxinas y los furanos.

Con una temperatura del material aproximada de 1450 °C, una temperatura de gases por encima de 2.000°C y una permanencia de 8 segundos o más en el horno se asegura una completa destrucción de los residuos orgánicos. En las plantas de cemento se han construido instalaciones para recibir, almacenar y utilizar los combustibles alternativos, que a menudo se complementan con plantas de pretratamiento de residuos.

El uso de llantas en hornos cementeros es una tecnología ampliamente difundida y probada en el mundo -en países como Noruega, Alemania, Austria, Holanda, Brasil, Colombia-, se tienen porcentajes de sustitución de combustibles fósiles por alternativos en la industria cementera superiores al 60%, de acuerdo con un reporte de OFICEM (Agrupación de fabricantes de cemento de España).

Es factible técnica y económicamente reemplazar el carbón que se emplea actualmente para la fabricación del clinker por llantas usadas, con lo cual también se busca garantizar un proceso más amigable con el medio ambiente. Se puede iniciar por ejemplo con 25 mil llantas usadas/año y así ir creciendo con esta alternativa. Esta iniciativa de utilizar residuos debe tener en cuenta el montar una logística adecuada para su recolección con centros de acopio y en paralelo realizar las implementaciones para la carga de los combustibles alternativos y para evitar las emisiones de la quema.

La energía que proporciona el coprocesado se utiliza completamente en el proceso

de fabricación del clinker, el contenido calorífico puede variar dependiendo del residuo utilizado. Es necesario tener en cuenta el poder calorífico del residuo y , también el contenido mineral del residuo (ceniza), que puede ser utilizado como materia prima alternativa en la producción del clinker.

Intertox ha realizado una pormenorizada evaluación de riesgos del coprocesado en Outão (Portugal) para estimar las potenciales emisiones peligrosas que podría suponer para la salud humana y el ecosistema. Esta práctica se calculó en el "peor escenario posible", simulando el efecto acumulado de las situaciones menos favorables con el fin de determinar si los niveles de emisión podrían suponer un riesgo para la salud y el medio ambiente. Se concluyó que el coprocesado no tiene ningún impacto en la salud de la población o el medio ambiente local, cuando se opera con los equipos adecuados para tratar los gases antes de su emisión al ambiente.

Para la quema de combustibles alternativos en los hornos de cemento, se debe considerar la aplicación de tecnologías para la captura de los contaminantes volátiles que se generaría en la quema de estos combustibles. Considerar implementaciones para evitar las emisiones de polvos, cenizas, dioxinas y furanos. Entre estas tecnologías están la pirolisis, los electrofiltros (precipitadores electrostáticos), los equipos de reducción catalítica selectiva (Selective Catalytic Reduction- SCRs, entre otros, construidos con la calidad de materiales para soportar las reacciones químicas, la corrosión y las emisiones.

Como alternativa la quema de residuos peligrosos -como los hospitalarios- en



los hornos cementeros se puede regular, designando a estos hornos como plantas de deposición de residuos peligrosos, siempre y cuando su uso sea considerado dentro del alcance de nuevas normativas ambientales (MINAM) y del sector salud (MINSAL-DIGESA).

Consumos específicos

La fabricación de cemento consume altos montos de energía eléctrica y térmica. Es una industria intensiva en energía, con un consumo específico alrededor de 4GJ/tonelada de cemento producido. En energía primaria el 25% de la energía de entrada es electricidad y el 75% es energía térmica. Los costos de energía representan aproximadamente el 26% de los costos de fabricación del cemento.³



El consumo específico de energía se define como el consumo de energía por unidad de producto terminado y es el indicador usado para medir la eficiencia energética de una planta. En la industria cementera el consumo específico de energía eléctrica sería en kWh/tonelada de cemento y en energía térmica MJ/tonelada de cemento o MJ/tonelada de clínker.

La comparación (benchmarking) con los consumos específicos estándares de empresas eficientes del mismo rubro en el mundo, permite determinar cuan

competitiva puede ser la empresa en el mercado global.

En los procesos de molienda el tipo de equipamiento y de la dureza de los materiales a moler son relevantes en el consumo de energía eléctrica, con consumos específicos de energía eléctrica en el mundo entre 80 a 140 kWh/tonelada de cemento. Como valor medio en Perú en el año 2016 los valores de consumo específico de energía térmica oscilan entre 97 y 100 kWh/tonelada de cemento equivalente.

La tarifa eléctrica para la industria en el mercado regulado es aproximadamente 0,25 Soles/kWh (OSINERGMIN 2016), mientras que para clientes libres es de 0,16 Soles/kWh.

En las plantas de cemento en el mundo el consumo específico de energía térmica es de aproximadamente 700 Kcal/Kg de clínker, con un potencial significativo de ahorro de energía térmica, por reducción de pérdidas aprovechando los gases de combustión del horno. Como valor medio en Perú el consumo específico de energía térmica es aproximadamente 745 kcal/kg de Clíinker (3140 MJ/tonelada de clínker).

En la Tabla 2 se muestran rangos de consumos específicos de energía según el tipo de proceso.

³ <http://es.slideshare.net/kabanita/balance-de-energia-y-cogeneracion-planta-de-cemento>

Tabla 2.
Consumos específicos de energía en el clínker
según el tipo de proceso

It	Tipo de proceso	Consumos específicos (MJ/tonelada de clínker)
01	Vía seca con precalentador de ciclones y precalcinador	2900-3200
02	Vía seca con precalentador de ciclones	3100-4200
03	Vía semi seca o semi húmeda	3300-4500
04	Hornos largos vía seca	Hasta 5000
05	Hornos vía húmeda	5000-6000

Fuente: Oficem

Además de la vía de fabricación empleada los consumos de energía en el clínker están relacionados por la humedad de las materias primas y por la dificultad en completar las reacciones químicas para la formación del clínker.

Se consume de 70 a 130 kilos de petróleo por tonelada de cemento producido, variando según el tipo de cemento o el proceso de fabricación empleado.

Tabla 3.
Precios de combustible

Gas licuado de Petróleo GLP	0,96 soles/kg (*)
Petróleo diésel DB5	6,96 soles/galón
Petróleo industrial PI 500	3,27 soles /galón
Petróleo industrial PI 6	3,43 soles/galón

Fuente: Lista de precios REPSOL Febrero 2016

(*) Diario GESTIÓN del 8 de marzo 2016



Un indicador con influencia en el consumo de energía en procesos es el consumo específico de materias primas. En la Tabla 4 se presentan estos consumos para una planta con una producción de clínker de 3 mil toneladas/día (un millón de toneladas de clínker/año) y 1,23 millones de toneladas de cemento/año. En los países de la Unión Europea la media en la relación de producción cemento/clínker es 1,23.

Tabla 4.
Consumos específicos de materias primas en la producción de cemento

Materias primas (base seca)	Por tonelada de clínker	Por tonelada de cemento	Consumo anual : Por millón de toneladas de clínker
Caliza, arcilla, pizarra, marga, otros	1,57 ton	1,27 ton	1 568 000 ton
Yeso, anhidrita	-	0,05 ton	0,05 ton
Adiciones	-	0,14 ton	172 000 ton

Fuente: Cembureau Report

3.3 Principales equipos consumidores de energía



Los equipos de mayor consumo de energía en una planta cementera:

Energía eléctrica

- **Molino de cemento**

Cumple la función de reducir la mezcla de clínker y yeso a la finura establecida según normas. El proceso de molienda del cemento se puede realizar con cualquiera de los tres tipos siguientes: molino de bola, molino vertical y prensa de rodillos. Posee motores de alta potencia y representa el 41% del consumo de energía eléctrica de la planta.

El molino de cemento comprende la alimentación, la descarga, parte de ruedas y parte de conducción. La parte de conducción se compone de reductor, engranaje impulsor pequeño, motor eléctrico y control eléctrico.

- **Trituradoras y molinos del crudo**

Tiene la función de lograr la obtención final de un producto crudo a una finura suficiente, con partículas que no sobrepasen un tamaño límite, lo que es importante para la protección y operación eficiente de las siguientes etapas del proceso. Poseen motores de alta potencia y representa el 32% del consumo de energía eléctrica de la planta.

- **Equipos para el homogenización, precalcinado y clinkerización**

Estos equipos utilizan energía eléctrica en las mezcladoras para transportar y preparar las materias primas utilizadas para la fabricación del clínker para que cumplan con las especificaciones técnicas, antes de proceder a su cocción. Luego en el precalcinador se tienen motores para el movimiento

de los materiales al clinker. En el clínquer el crudo que es sometido a altas temperaturas, tiene consumos representativos de energía eléctrica en el motor para la rotación del horno y en el motor del ventilador (extractor de gases). Representa el 21% del consumo de energía eléctrica de la planta.

Energía térmica

- **Horno de clinkerización y proceso de precalcinado.**

En la planta es el equipo de mayor consumo de energía térmica.

El crudo es introducido al horno de clinkerización luego de pasar por un intercambiador de calor compuesto por ciclones, en el cual el material, al descender a contracorriente con los gases que salen del horno, se calienta hasta alcanzar una temperatura de unos 600 °C a la entrada del mismo (precalcinado).

Una vez en el horno, el material sufre una serie de reacciones a altas temperaturas (1450°C) para formar los componentes básicos del clínquer que le van a conferir sus propiedades. El consumo representa el 75% del consumo global de energía (eléctrica y térmica) de la planta





4

EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO COMO HERRAMIENTA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA



4

EL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO COMO HERRAMIENTA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

El Diagnóstico Energético permite analizar el uso de la energía eléctrica y térmica “combustible”, utilizada en una empresa para el desarrollo de su proceso productivo, lo cual nos permitirá conocer:

- En que parte del proceso de producción se utiliza la energía.
- Las principales áreas consumidoras de energía.
- Cantidad de energía desperdiciada.

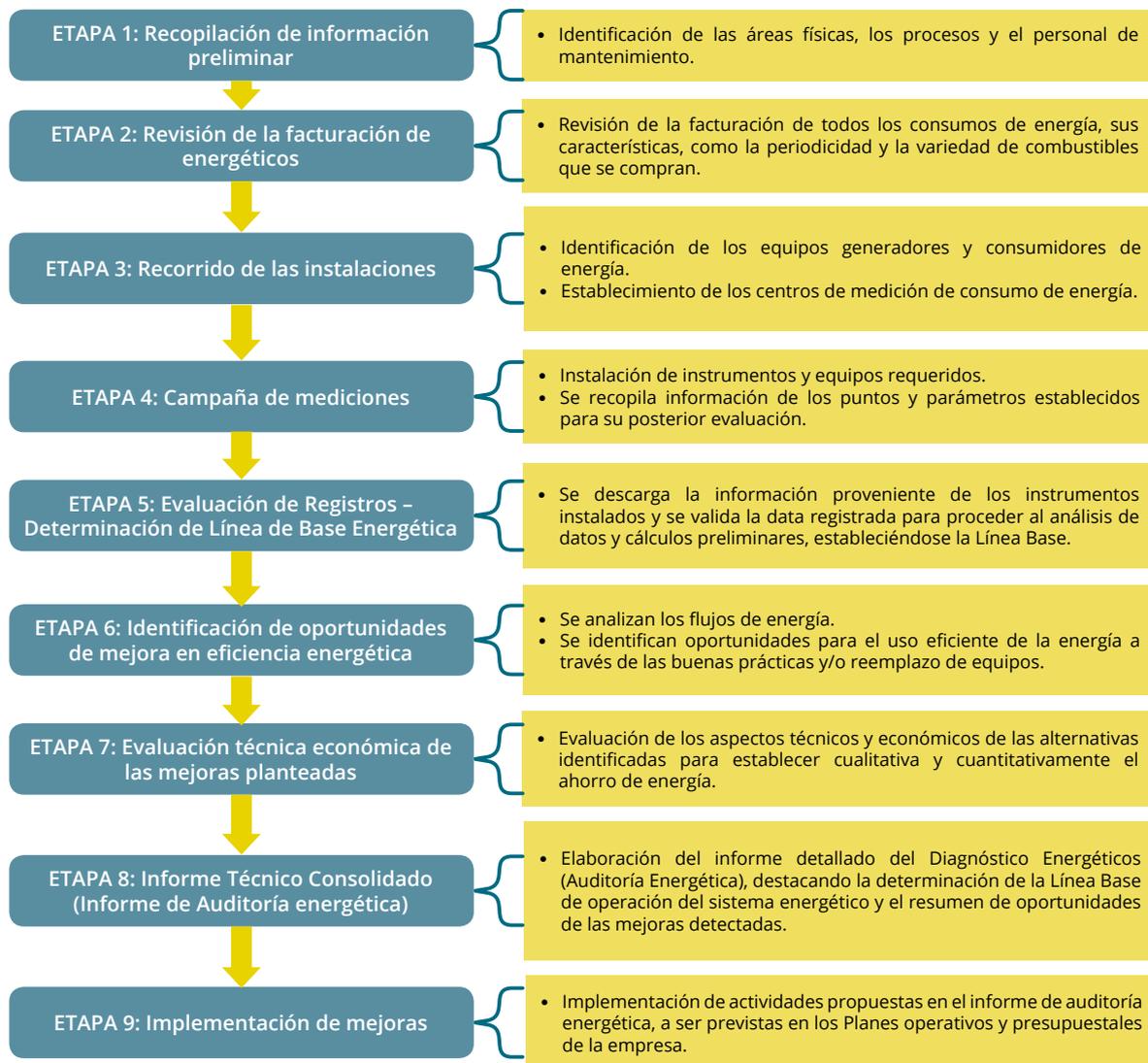
La magnitud o profundidad del Diagnóstico Energético depende del tamaño de la empresa y la disponibilidad de recursos para su ejecución. En la Figura N° 5, se presenta un gráfico referencial de las Etapas para la Elaboración de un Diagnóstico Energético.



El Diagnóstico Energético lo deberá realizar un ingeniero (en energía, electricista, mecánico, mecánico electricista o químico); o técnico (electricista, en máquinas térmicas, en procesos industriales) con certificación oficial, que cuente con las siguientes capacidades técnicas:

- Especialista en eficiencia energética con conocimientos y experiencia en el diseño, ejecución y supervisión de instalaciones eléctricas industriales y comerciales, análisis de sistemas tarifarios eléctricos; y/o de instalaciones mecánicas y térmicas, sistemas de aire comprimido, sistemas de fluidos, sistemas de producción, distribución y uso de vapor, y en mediciones de variables térmicas.

Figura 5:
Etapas del Diagnóstico Energético



Fuente: Elaboración FONAM

4.1 Objetivos

- Cuantificar el uso de la energía, con detalles suficientes para localizar pérdidas.
- Establecer una línea base contra la cual se deberán evaluar los beneficios obtenidos como resultado de la implementación de las mejoras y recomendaciones asociadas con las oportunidades identificadas.
- Identificar oportunidades de uso eficiente de la energía a través de la implementación de proyectos y mejoras para ahorrar energía y costos.

4.2 Etapas de elaboración del diagnóstico energético

4.2.1 Etapa 1: Recopilación de Información Preliminar

El ingeniero y/o técnico especialista que estará a cargo de la elaboración del estudio de Diagnóstico Energético realizará una “visita de reconocimiento” de las instalaciones de la empresa para ver y conocer de manera general el proceso productivo, los principales equipos y fuentes de energía utilizadas.

Es importante entrevistarse con el/los responsable/s directo/s, jefe de planta, gerente de planta, jefe de mantenimiento u otro que esté a cargo del proceso productivo y mantenimiento de equipos para aclarar dudas y/o consultas sobre el desarrollo general de las áreas productivas.

También es importante entrevistarse directamente con los operadores que manejan los equipos y determinar el modo de operación de los principales equipos consumidores de energía.

Finalmente se solicitará los manuales de operación de los equipos consumidores, generadores o transformadores de energía, reportes de mantenimiento, costos de energía como parte de los costos de producción, diagrama de instalaciones eléctricas, planos de distribución de maquinarias y ambientes, planos de fluidos térmicos, estadísticas de producción y ventas, estructura organizacional, diagrama de los procesos de producción.

De ser el caso, se solicitará los estudios anteriores que hayan realizado sobre el consumo energético de la empresa.

Esta etapa debe dar como resultado la recopilación de información de las características del espacio físico a auditar y comprende lo siguiente:

- Dimensión del área construida y tiempo de vida de las instalaciones.
- Número de trabajadores (incluido visitantes).
- Organigrama de la empresa distribuido por áreas y responsables, a fin de identificar las áreas físicas y el personal involucrado en el tema energético.
- Número de actividades que se realizan.
- Cantidad de áreas productivas y áreas de oficinas.
- Horario de trabajo
- Cantidad de personal involucrado en el tema energético
- Plano unifilar de distribución eléctrica.
- Plano térmico de las instalaciones.
- Manuales de operación y planes de mantenimiento.
- Otra información relevante, como renovaciones, ampliaciones futuras, entre otros.

4.2.2 Etapa 2: Revisión de la Facturación de Energéticos

La información preliminar será proporcionada por la empresa y consiste en las facturaciones energéticas de los consumos de energía eléctrica, combustible y demás energéticos, de al menos un (01) año, así como las características del suministro eléctrico, tarifa y tipo de combustible utilizados.

El objetivo es conocer el perfil de consumo total de energéticos de la



empresa y también su máxima demanda en potencia (kW) y su máxima demanda en energía (kW.h); así como los niveles de consumo por tipo de combustible y demás energéticos (solar, eólico, biogás, entre otros).

4.2.3 Etapa 3: Recorrido de las instalaciones

El ingeniero y/o técnico a cargo de la ejecución del Diagnóstico Energético, realizará una “visita técnica” a las instalaciones de la empresa y revisará algunos aspectos claves que podrían convertirse en importantes oportunidades de ahorro energético. Recorrer las instalaciones para realizar el inventario y ubicar los equipos generadores y consumidores de energía. Las visitas técnicas darán como resultado la siguiente información:

- Inventario de equipos con sus características técnicas. Para el caso de equipos eléctricos: datos de placa, potencia en watts o kilowatts, tensión en volts, corriente en amperios. En el caso de equipos térmicos de potencia (BHP o kW): consumos específicos, parámetros de regulación, rendimientos térmicos, etc.
- Ubicación física de estos equipos en la empresa.
- Revisión de maquinaria y equipos, revisión de fuentes de energía, estado de las conexiones eléctricas, estado de las conexiones de agua, tipo de iluminación (natural o artificial), personal y áreas claves involucradas en la producción y en el consumo de energía, y la posibilidad de acceder a otras fuentes de energía.

- Identificación de los centros de costos de consumo de energía.
- Definir los puntos y parámetros mínimos a medir, como son: tensión, corriente, potencia, energía, armónicos, factor de potencia, los cuales no son limitativos; así como los periodos de medición u otros parámetros que podrán obtenerse a través de equipos de tecnología de última generación, que le sirvan a la empresa para el ahorro de energía eléctrica y/o térmica como presión, temperatura, etc.

Es muy importante que el ingeniero y/o técnico cuente con los conocimientos del proceso a analizar y la experiencia en la realización de este tipo de estudio.

4.2.4 Etapa 4: Campaña de Mediciones

Luego de haber elegido los puntos y/o equipos consumidores de energía cuyos consumos serán medidos, por ejemplo: grupo electrógeno, calderas, motores eléctricos, iluminación entre otros; se instalan los instrumentos y equipos de medición requeridos, se realizará mediciones térmicas y eléctricas con los mismos instrumentos fijos de la empresa o instrumentos portátiles dispuestos para este propósito, lo cual permitirá conocer si los equipos consumidores están perdiendo energía o lo consumen adecuadamente.

“Si usted no puede medir, usted no puede controlar, entonces no conseguirá administrar los energéticos”

Posteriormente se recopila la información, como el perfil de consumos energéticos,



diagrama de carga, factor de potencia, máxima demanda en potencia (kW) y máxima demanda en energía activa y reactiva (kW.h y KVARh), así como los niveles de consumo por tipo de combustible y demás energéticos (solar, eólico, biogás, etc.) para su evaluación.

4.2.4.1 Área térmica

En el área térmica se debe medir principalmente la combustión eficiente en calderas.

Además evaluar los sistemas de distribución de vapor, agua y aire comprimido, el estado del aislamiento térmico de ductos de vapor, sistemas de calefacción y refrigeración, recuperación óptima de condensados. Así como la factibilidad de cambio de combustible, optando siempre por el menos contaminante y más amigable con el ambiente.



Equipos de Medición de Energía Térmica:

- **Analizador de gases que puede ser portátiles o fijos.**
Permite medir la composición de gases de combustión (CO₂, O₂, NO_x, CO, SO₂), temperatura y conocer la eficiencia de combustión.
- **Medidor de Temperatura por contacto**
Permite medir temperaturas de fluidos y sólidos de diferentes sustancias, pueden ser portátiles o fijos y pueden disponer de sondas para conectar termopares rápidos y fiables.

- **Medidor de Temperatura a distancia o infrarrojo**

Termómetro con indicador láser en cruz y óptica seleccionable para mediciones lejanas y cercanas

- **Higrómetro o medidor de humedad**

Para detectar las humedades de aire y/o materiales que intervienen en el proceso productivo

4.2.4.2 Área eléctrica

Medir y registrar los consumos de energía eléctrica, evaluar el factor de potencia y el consumo de energía reactiva, análisis de las potencias contratadas, análisis de la posibilidad de cambio de suministro de energía o de opción tarifaria, y optimización de sistemas de iluminación.

Equipos de Medición de Energía Eléctrica:

- **Analizador de Redes Eléctricas (Trifásico).** Permite medir y registrar los consumos de energía eléctrica
- **Multímetro Digital.** Permite medir magnitudes eléctricas activas como corrientes y potenciales (tensiones) o pasivas como resistencias, capacidades y otras.
- **Tacómetro Digital.** Permite medir la velocidad de los motores eléctricos.
- **Luxómetro.** Permite medir los niveles de iluminación.

Procedimiento para la instalación de equipos con tensiones de servicio inferiores a 600 V “en caliente”

La instalación debe ser realizada por personal debidamente calificado como es el caso de un ingeniero electricista o técnico instrumentista eléctrico de mando medio pero con entrenamiento en los siguientes equipos: Dranetz, RPM, Memobox, ABB o similar y siempre supervisado por un ingeniero electricista de campo.

**Tabla N°2:
Procedimiento**

ETAPAS		RIESGOS POTENCIALES	PROCEDIMIENTO
1.	Asignación de la tarea	<ul style="list-style-type: none"> • Accidente por falta de apoyo 	<ul style="list-style-type: none"> • Toda tarea deberá efectuarse entre dos personas.
2.	Revisión de EPP (Equipo de Protección Personal)	<ul style="list-style-type: none"> • Accidente por no usar los EPPs • Accidente por deterioro de los EPPs 	<ul style="list-style-type: none"> • En cada tarea se deben usar los EPPs (casco, lentes, guantes dieléctricos, zapatos dieléctricos, herramientas aisladas). • Verificar el buen estado de los EPPs.
3.	Revisión del equipo registrador.	<ul style="list-style-type: none"> • Accidente por deterioro del equipo y sus componentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el buen estado del equipo y sus componentes de tensión y corriente. • Verificar que el material aislante no tenga, cortes, rajaduras, abolladura, etc.
4.	Reconocimiento de la zona de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Accidente por pisos húmedos, etc. • Accidente por mal estado de las instalaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar la zona de trabajo y evaluar el riesgo. • En caso de alto riesgo, suspender el trabajo.
5.	Señalización de la zona de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Accidente por intervención de terceros 	<ul style="list-style-type: none"> • Delimitar la zona de trabajo utilizando cintas y/o carteles con indicación de peligro, que disuadan el acceso de terceras personas.
6.	Verificación de tensiones y corrientes del circuito	<ul style="list-style-type: none"> • Accidente por tensiones mayores a 600 V. • Accidente por corrientes elevadas 	<ul style="list-style-type: none"> • -Verificar el nivel de tensión del circuito (en caso de tensiones superiores a 600V suspender la tarea) • -Verificar las corrientes del circuito y seleccione el reductor de corriente adecuado.
7.	Instalación del equipo Registrador	<ul style="list-style-type: none"> • Accidente por conexionado incorrecto. • Accidente por falla de aislamiento del circuito de potencia. • Accidente por desprendimiento de algún cable de potencia. • Accidente por corto circuito • Accidente por exceso de confianza 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar el tipo de conexionado • Antes de hacer cualquier conexión, deberá conectar el conductor de verde del equipo a tierra. • Verificar el ajuste mecánico y la temperatura del circuito. • Verificar el aislamiento de los conductores del circuito. • No portar elementos metálicos que se puedan desprender y provocar un corto circuito. • Colocar el equipo de manera que no esté expuesto a circuitos energizados. • Evitar el exceso de confianza.



ETAPAS		RIESGOS POTENCIALES	PROCEDIMIENTO
8.	Datos del circuito y del equipo instalado	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes por no mantener distancias mínimas de seguridad. 	<ul style="list-style-type: none"> • La distancia mínima será de 50 cm
9.	Transferencia de datos y retiro del equipo	<ul style="list-style-type: none"> • Accidente por desprendimiento de algún cable de potencia. • Accidente por corto circuito. • Accidente por exceso de confianza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar forcejeos en los cables de potencia • No portar elementos metálicos que se puedan desprender y provocar un corto circuito. • Evitar el exceso de confianza.

EPP: Equipo de protección personal

Fuente: Guía modelo N° 11 INDUSTRIA DE ALIMENTOS, MINEM 2008.

4.2.5 Etapa 5: Evaluación de Registros - Línea base energética: consumos y costos de la energía

instalaciones que comprometan la seguridad de las personas.

- Identificación de malos hábitos de consumo.

Los registros obtenidos en la campaña de mediciones proporcionarán la información que deberá ser evaluada, validada y analizada, afín de verificar la consistencia de datos y descartar los datos no reales. Y servirá para obtener lo siguiente:

Se realizan cálculos, estimaciones, balances de masa y energía, flujo gramas, etc, para determinar la participación de la energía en el proceso productivo. La intención será conocer en detalle cómo se está utilizando la energía en las áreas, zonas y hasta por equipo o maquinaria.

Una manera de evaluar los consumos es elaborando índices energéticos (relación del consumo energético con la producción) de tal manera de poder comparar lo actual con el futuro, luego de haber realizado mejoras en las instalaciones.

► Indicadores:

Consumo de energía eléctrica (kWh)/
Producción (t)

Consumo de combustible (gal ó Sm³ ó kg)/
Producción (t)

Finalmente con los resultados se constituye la línea de base que va servir como referencia para las futuras acciones a implementar y lograr el beneficio esperado.

El establecimiento de una línea de base permite evaluar el impacto de las



- El rendimiento y consumo real de los equipos generadores o consumidores de energía eléctrica o térmica por usos y sectores. Se incluyen los costos de los insumos y costo de producción, porque finalmente al empresario le interesa saber cuánto le cuesta implementar la eficiencia energética en su industria y cuál es el beneficio económico que va a obtener.
- El rango de eficiencia energética de los equipos o sistemas principales
- La calidad de energía y su aplicación para la seguridad y confort del personal (iluminación, ventilación, etc.) y las deficiencias en las instalaciones eléctricas de la empresa (seguridad eléctrica).
- La calidad de energía térmica en cuanto al uso, seguridad y confort del personal y las deficiencias en las

recomendaciones asociadas con buenas prácticas de mínima inversión y mejoras tecnológicas con grado de inversión orientadas a reducir costos de operación y mejorar la calidad del servicio.

Determinación de la Línea de Base: Proporciona la información sobre el estado actual del consumo e indicadores energéticos, los cuales comparándolos con las siguientes auditorías, brindarán la información del grado de eficiencia que se viene desarrollando.

La línea base deberá estar expresada en forma cuantitativa y ser consistente con la situación real del sistema energético a efectos de comparación en un período determinado.

4.2.6 Etapa 6: Identificación de Oportunidades de Mejoras en Eficiencia Energética

En esta etapa se identifican las oportunidades de mejora, determinando el potencial de ahorro energético, los equipos críticos y recomendándose las alternativas técnicas de mejoramiento y/o sustitución.

En esta etapa se obtiene la siguiente información:

- Inventario de equipos y artefactos consumidores de energía
- Diagrama de flujo de procesos de la empresa.
- Diagrama de carga del consumo de energía, en Diagrama de Sankey o similar.
- Oportunidades de mejora energética (sustitución o mejora de equipos y/o cambio de hábitos)
- Determinación de los centros de costos energéticos, que nos

permitirá conocer y mejorar el consumo de cada energético por área o proceso especificado.

- Mejora en los procesos de la entidad.

4.2.7 Etapa 7: Evaluación técnica-económica-financiera de las Mejoras planteadas

Se evalúan los aspectos técnicos económicos, su costo y viabilidad de implementación, considerando el retorno de la inversión y las oportunidades identificadas para establecer cuantitativamente el ahorro económico y energético.

Se proponen mejoras que pueden estar en todo o parte del proceso productivo, tales como el acondicionamiento previo de la materia prima, recuperación de calor perdido, recuperación de material, cambio de fuente energética, mejora en la administración energética, recuperación de la eficiencia de los equipos, adopción de nueva tecnología, etc. Todo esto deberá ser sustentado técnicamente y en caso de requerir financiamiento se pueden adoptar diferentes mecanismos bancarios o entidades financieras de nuestro medio.



4.2.7.1 Evaluación técnica-económica

Evaluación del ahorro de energía proyectado

El ahorro de energía atribuible a las recomendaciones de buenas prácticas de consumo y el reemplazo de equipos, es función directa de la eficiencia de las unidades involucradas, capacidad de los equipos, horas de operación y diversas condiciones relacionadas con los procesos industriales.

El ahorro de energía se refiere a un período determinado, el cual puede ser mensual o anual. Los ahorros de energía asociados con sistemas eléctricos se expresan en kWh y la reducción de potencia se expresa en kW.

En el presente caso, los ahorros de energía están asociados con la reducción de la potencia y del consumo de energía. A partir de los ahorros expresados en potencia demandada en 64 kW y disminución del consumo de energía en 546 000 kWh/año en promedio, es posible establecer los indicadores de evaluación económica.

Con los datos expresados, podemos evaluar económicamente los resultados de la recomendación de eficiencia:

Primeramente calculamos el ahorro económico (AE)

AE1 = Ahorro en potencia demandada: 64 kW

AE2 = Ahorro en consumo de energía: 546 000 kWh/año

Evaluación del beneficio económico esperado

El beneficio económico está relacionado, principalmente, con el ahorro de energía proyectado. Es posible encontrar algunos casos, como el cambio de pliego tarifario, en los cuales el beneficio económico no está ligado directamente con un ahorro de energía, o el beneficio económico por una reducción de la máxima demanda, en cuyo caso el ahorro de energía no es necesariamente el componente principal.

El cálculo del beneficio económico deberá estar expresado en el mismo período para el cual se ha efectuado el cálculo del ahorro económico (mensual o anual).

En el proceso de cálculo del beneficio económico, se requiere establecer el precio del energético involucrado. En el caso de la electricidad, es posible encontrar diversos precios de la energía (kW.h) y la potencia (kW), tanto para periodos de hora punta como fuera de punta. En esos casos es posible establecer un precio ponderado que considere estas diferencias y que resulte apropiado para estimar el beneficio económico.

En el presente caso, como se trata de un ahorro de potencia y energía, se considera los costos de la tarifa MT3 vigentes, según el pliego tarifario establecido por OSINERGMIN. El precio de la potencia es de 50 Soles/kW-mes y el precio de la energía es de 0,19 Soles/kWh.

El beneficio económico (BE) se calcula de la siguiente manera:

Aplicando los costos de la Tarifa MT3 vigentes en el país:

BE1 = BE en potencia: 64 kW x 50 Soles/kW-mes x 12 meses/año

BE1 = 38 400 Soles/año

BE2 = BE en energía: 546 000 kWh/año x 0,19 Soles/kWh

BE2 = 103 740 Soles/año

BE = Beneficio por ahorro en potencia + Beneficio por ahorro en energía

BE = 38 400 soles/año + 103 740 soles/año

BE = 142 140 soles/año

Evaluación del costo de implementación y retorno de inversión

El costo de implementación asociado con la recomendación que originará el ahorro de energía esperado deberá ser calculado sobre la base de cotizaciones de proveedores que proporcionen



un estimado del orden de magnitud involucrado. En este costo deberá considerarse, principalmente, el costo de inversión inicial (una sola vez), mientras que los costos de operación y mantenimiento (periódicos) deberán ser descontados del beneficio económico (calculado en base al ahorro de energía).

El costo de implementación o inversión en el equipo variador de velocidad para motor de ventilador de 1200 kW es de S/. 525 000.

Existen varios métodos para establecer el retorno de inversión de las oportunidades y recomendaciones para el ahorro de energía y obtención de beneficio económico. Entre ellos, se incluyen:

- Retorno de inversión (RI)
- Valor actual neto (VAN)
- Tasa interna de retorno (TIR)
- Relación Costo/Beneficio (B/C)

El periodo de retorno simple es lo suficientemente apropiado para evaluar la rentabilidad en proyectos con retornos menores a los 2 ó 3 años. A medida que este retorno se hace más prolongado, se hace necesario considerar los métodos VAN y TIR.

El retorno simple se calcula mediante:

$$RI = \frac{IMP}{BE}$$

Donde:

IMP = Costo de implementación de la mejora (S/.)

BE = Ahorro económico (S./año)

RI = Retorno de inversión (años)

$$RI = \frac{S/. 525\ 000}{S/. 142\ 140 \text{ /año}}$$

RI = 3,69 años

Con este resultado se puede concluir que la inversión realizada en la mejora identificada será recuperada en 3,69 años, es decir en 3 años 8 meses aproximadamente.

Viendo que la inversión será recuperada en un periodo mayor a tres años, requiere calcularse los otros indicadores.

En cuanto a los métodos de valor actual neto y tasa interna de retorno, se involucran las siguientes variables de análisis.

P = Valor Presente

A = Valor Anual o Anualidad

F = Valor Futuro

n = Vida Útil

i = Tasa de Interés

En éste contexto, es posible definir factores que permitan transformar el valor presente en anualidades o valor futuro, tal como se muestra a continuación.



Tabla 6:
Fórmulas de valor presente y futuro

$\left(\frac{F}{P}\right) = (1 + i)^n$	$\left(\frac{F}{A}\right) = \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$
$\left(\frac{P}{F}\right) = \frac{1}{(1 + i)^n}$	$\left(\frac{A}{F}\right) = \frac{i}{(1 + i)^n - 1}$
$\left(\frac{P}{A}\right) = \frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n}$	$\left(\frac{A}{P}\right) = \frac{i(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$

Fuente: Guía modelo N° 05 INDUSTRIA CEMENTERA, 2008

Por ejemplo, para una tasa de descuento de 11% en un periodo de 12 años el factor A/P resulta:

$$A/P = [11 (1+11)^{12}] / [(1+11)^{12} - 1]$$

$$A/P = 0,15$$

El valor presente se determinará aplicando la siguiente fórmula:

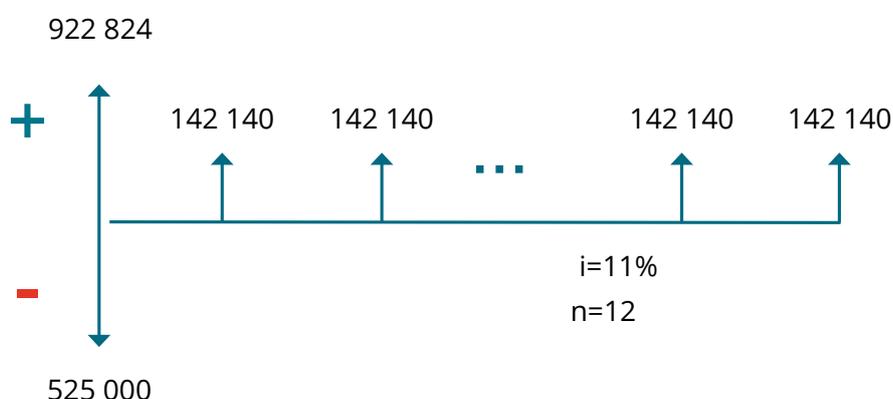
$$P = \text{Valor Anual} / \text{Factor A/P}$$

$$P = 142\,140 \text{ Soles} / 0,15402729$$

$$P = 922\,823,50 \text{ Soles}$$

Es decir un ahorro anual de 142 140 Nuevos Soles durante un periodo de 12 años a una tasa de descuento de 11% equivale en el tiempo presente a 922 823,50 Nuevos Soles. En la figura presentada a continuación se muestra el análisis del VAN el cual resulta en un beneficio positivo de 922 824 Nuevos Soles.

Figura N°7.
Análisis utilizando el Valor actual neto



Considerando los demás indicadores y los supuestos asumidos, podemos ver los siguientes resultados para un análisis de sensibilidad de la tasa de descuento, con lo cual puede comprobarse que el ahorro de energía es rentable:

Tabla 7:
Análisis de sensibilidad de la tasa de descuento

INDICADOR	TASA DE DESCUENTO		
	10%	11%	12%
TIR (%)	15,64	15,64	16,64
VPN (S/.)	152 949	129 976	91 328
B/C	1,19	1,15	1,12

Fuente: Elaboración FONAM

4.2.7.2 Análisis de sensibilidad de los indicadores económico-financiero

El análisis de sensibilidad de los indicadores económico-financieros de la rentabilidad de un proyecto de eficiencia energética deberá considerar posibles variaciones tanto en el costo de implementación como en el beneficio económico.

Con respecto al ejemplo de cálculo mostrado en la Evaluación del costo de implementación y retorno de inversión, una variación de +/- 10% tanto en el ahorro económico como en el costo de implementación incide en el retorno de inversión en el rango de 36,26 a 54,17 meses, y de 3,02 a 4,51 años, según se muestra en el Tabla N° 7.

Tabla 8.
Análisis de sensibilidad del retorno de inversión (meses)

Variación del costo de implementación	Variación del Beneficio Económico				
	-10%	-5%	0	5%	10%
-10%	44.32	41.99	39.89	37.99	36.26
-5%	46.78	44.32	42.11	40.10	38.28
0	49.25	46.66	44.32	42.21	40.29
5%	51.71	48.99	46.54	44.32	42.31
10%	54.17	51.32	48.75	46.43	44.32

Fuente: Elaboración FONAM

Tabla 9.
Análisis de sensibilidad del retorno de inversión (años)

Variación del costo de implementación	Variación del Beneficio Económico				
	-10%	-5%	0	5%	10%
-10%	3.69	3.50	3.32	3.17	3.02
-5%	3.90	3.69	3.51	3.34	3.19
0	4.10	3.89	3.69	3.52	3.36
5%	4.31	4.08	3.88	3.69	3.53
10%	4.51	4.28	4.06	3.87	3.69

Fuente: Elaboración FONAM



4.2.7.3 Alternativas de financiamiento convencional

Los proyectos/programas de eficiencia energética de la industria cementera pueden acceder al financiamiento denominado convencional de las entidades financieras pero tienen que sustentarse además del flujo de ingresos por el ahorro energético con ingresos por la venta de los productos.

En el Sistema financiero nacional se pueden encontrar financiamiento para

los proyectos/programas de eficiencia energética en las siguientes entidades:

Banca Nacional/Fondos de Inversión de segundo piso como:

COFIDE (Corporación Financiera de Desarrollo Corporación Financiera de Desarrollo S.A.) que administra fondos del Programa tecnologías productivas eficientes para ser otorgados por las entidades de las microfinanzas por montos de hasta US\$ 50,000, así como proyectos de cambio de la

Matriz energética con participación de los bancos por montos mayores a US\$ 2 millones (www.cofide.com.pe).

Fondo de Inversión Responsibility (www.responsability.com), Fondo de segundo piso que tiene un Programa de financiamiento para proyectos energéticos a través de los Bancos para operaciones mayores de U\$ 500,000.

Banca Nacional de primer piso como:

Banco de Crédito del Perú (www.viabcp.com), Banco BBVA Continental (www.bbvacontinental.pe), INTERBANK (www.interbank.com.pe), BANBIF (www.banbif.com.pe) entidades que pueden financiar operaciones de crédito de eficiencia energética para todo tamaño de crédito.

Adicionalmente, hay una Línea de crédito ambiental de la Cooperación suiza que financia proyectos de eficiencia energética no mayores de US\$ 1 millón, esta línea la otorgan los bancos nacionales: BCP, SCOTIABANK y el INTERBANK financiando el 50 % de la operación crediticia.

Banca Internacional

BID (Banco Interamericano de Desarrollo) Banco multilateral americano que otorga para el sector privado créditos incluidos los de eficiencia energía con sus propios recursos y de los fondos climáticos pero para operaciones mayores de US\$ 10 millones. Adicionalmente pueden apoyar a la empresa con la asistencia técnica de consultoría especializada (<http://www.iadb.org>).

Banco Mundial (Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo – BIRD y Corporación Financiera Internacional – CFI).

El Banco Mundial es una de las principales entidades financieras multilateral del mundo y brinda asistencia financiera y técnica para los países en desarrollo de todo el mundo atiende el sector energía incluyendo programas de eficiencia energética con la salvedad que otorga directamente créditos a los Gobiernos no otorga créditos al sector privado.

Para apoyar financieramente al sector privado trabaja con su agente financiero el IFC y esta organización financia directamente al sector privado a proyectos energéticos como eficiencia energética con sus fondos propios o de los países aportantes que tienen compromiso con la Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC) (www.bancomundial.org). Igualmente, este banco trabaja también como segundo piso otorgando créditos a los bancos.

El Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) es una institución financiera multilateral cuya misión es promover el desarrollo sostenible y la integración regional entre sus países accionistas. La CAF opera en conjunto con los sectores público y privado y provee múltiples servicios financieros a una gran cartera de clientes conformada por los gobiernos de sus países accionistas, compañías públicas y privadas e instituciones financieras (www.caf.com) otorga créditos a proyectos energéticos como eficiencia energética del sector privado.

Validación de las mejoras planteadas

Las mejoras planteadas a veces no resultan conveniente para el empresario debido a otras prioridades en el tema de inversiones, o a que los ahorros no superan las expectativas de la alta



dirección. Por eso se debe proponer todas las alternativas separando las mejoras sin inversión, las de mediana y gran inversión. En todo caso una reunión previa con la alta dirección donde se analizarán las mejoras recomendadas con su respectiva inversión, retorno y financiamiento, determinarán cuales serán aprobadas, las mismas que serán incluidas en el informe final de la evaluación energética realizada. Cabe señalar también la posibilidad de elaborar un cronograma de actividades donde se programe las futuras acciones para implementar la eficiencia energética en la planta industrial.

4.2.8 Etapa 8: Informe de Auditoría Energética

La evaluación energética como documento final puede llamarse Auditoría Energética, Diagnóstico Energético, Estudio o Evaluación de Eficiencia Energética, Estudio de Uso Racional de Energía, etc, y de acuerdo al interés particular del empresario puede adoptar uno de estos nombres u otro similar.

El informe final de la auditoría energética debe contener, la línea base y las oportunidades de ahorro, así como la implementación de mejoras propuestas.

A continuación se muestra el contenido mínimo:

1. Resumen ejecutivo
2. Objetivo
3. Introducción
 - Antecedentes
 - Auditores energéticos
 - Características de la empresa
 - Suministro de electricidad, combustibles y otros energéticos
4. Estado actual del consumo de energía (línea base)

5. Análisis de los subsistemas energéticos
 - Equipos generadores y consumidores
 - Iluminación
 - Aire acondicionado, ventilación y refrigeración
 - Equipos electromecánicos
 - Otros subsistemas (red de vapor, bombeo, aire comprimido, etc.)
6. Mediciones eléctricas y térmicas
7. Oportunidades de mejoras detectadas
8. Evaluación técnico-financiera de las medidas de mejora y sugerencias
9. Cronograma de implementación de mejoras
10. Conclusiones y recomendaciones
11. Anexos mínimos:
 - Diagramas unifilares eléctricos, diagrama de Sankey o similar.
 - Planos de distribución: eléctrico, agua, desagüe, etc.
 - Consumo histórico de energéticos (electricidad, combustibles, energía solar, eólica, etc.)
 - Mediciones realizadas
 - Notas de cálculo de determinación de tamaños de equipos recomendados.
 - Otros relevantes

4.2.9 Etapa 9: Propuesta de Implementación de Mejoras

Las propuestas de implementación de mejoras, también podrán considerar la utilización constante de tecnologías de auditoría energética de última generación presentes en el mercado, las cuales permitirán una administración o gestión de la energía a través del monitoreo en línea de sus consumos energéticos (entre otros indicadores) de forma inmediata. Las mismas que deberán ser incluidas en el Informe Final de Auditoría.



4.3 Seguimiento y monitoreo de las mejoras implementadas

Para implementar las mejoras recomendadas y lograr los beneficios económicos, existen varias modalidades, desde la firme decisión a través de un Comité de Energía formado al interior de la misma empresa, hasta la contratación externa de una Empresa de Servicios Energéticos que garantice el logro de este beneficio económico. La ventaja de lo último, es que en el contrato se puede estipular como objetivo la implementación y el logro del beneficio económico por parte de la Empresa de Servicios Energéticos.

Dependiendo del tamaño de la empresa, las mejoras sin inversión pueden ser implementadas directamente sin la intervención de un tercero, pero si requiere invertir para lograrlo, es necesario garantizar el beneficio para recuperar la inversión, por lo tanto se sugiere adoptar medidas de control como se señala a continuación.



• Monitoreo y fijación de metas (M&T)

Existen varias modalidades de control para lograr los ahorros esperados, como aquellas reconocidas en muchos países por su efectividad, si es que se aplican correctamente, tal es el caso del Monitoring and Targeting (M&T) o un equivalente como es el plan de Medida y Verificación (M&V). En este documento nos vamos a referir al M&T como una metodología que permite programar actividades de ahorro de energía mediante el seguimiento, medición y control de los consumo energéticos en una Industria, a partir de una línea

base establecida previamente en un diagnóstico energético.

En caso de solicitar financiamiento para implementar una mejora de ahorro de energía, el M&T puede sustentar ante la entidad financiera, que los beneficios económicos van a ser logrados en el plazo previsto por el programa.

La metodología de este sistema exige identificar los centros de consumo, aplicar e implementar llave en mano la recomendación, establecer indicadores que permitan hacer un seguimiento permanente y medir periódicamente para demostrar el beneficio económico, el cual será comparado con la línea de base establecida al inicio del programa.

Los elementos esenciales del sistema M&T son:

- a. Registro: Medir y registrar el consumo de energía.
- b. Análisis: Establecer indicadores energéticos para comparar consumo y producción
- c. Comparación: Comparar consumos de energía antes y después del uso eficiente.
- d. Metas: Establecer la meta para reducir o controlar el consumo de energía.
- e. Monitoreo: Seguimiento permanente de la evolución del consumo de energía
- f. Reporte: Reportar los resultados, incluyendo variaciones de la meta.
- g. Control: Controlar medidas de gestión para corregir variaciones.

• Protocolos de medición y verificación

Luego de identificar las mejoras en la planta para lograr la eficiencia energética, se hace necesario su implementación para obtener el beneficio económico esperado. El M&T brinda las herramientas necesaria para lograr el ahorro, pero a su vez requiere de una medición y verificación precisa y confiable, más aun si se ha solicitado recursos a una entidad financiera.

Para validar las mejoras logradas en una industria es conveniente adoptar el protocolo IPMPV (International Performance Measurement and Verification Protocol), desarrollado por la Efficiency Valuation Organization (EVO).

• El Protocolo IPMPV

El protocolo define cuatro opciones de cálculo para la medición y verificación de los ahorros, tomando como referencia la línea de base que luego será comparado, se deberá seleccionar una de las opciones de medición y verificación.

Opción A: análisis parcial de la zona aislada, donde se efectúa una medida de mejora energética

- Análisis solo de la mejora realizada en una zona o equipo consumidor.
- Medición efectiva solo del parámetro involucrado en la mejora y el resto puede ser estimado con datos estadísticos u otros proporcionados por la planta.
- La aplicación se usa generalmente para la sustitución de equipos, asumiendo que no hay interacción de consumos con otros equipos.

Opción B: análisis total de la zona aislada, donde se efectúa una medida de mejora energética

- Análisis solo de la mejora realizada en una zona o equipo consumidor.
- Medición efectiva de todos los parámetros involucrados dentro de los límites señalados para la mejora.
- La aplicación es generalmente utilizada para la sustitución de equipos, en los que se haya definido los límites de medición para la zona involucrada.

Opción C: Análisis de una instalación completa

- Análisis de toda la instalación, y donde se ubica la mejora recomendada.
- Medición efectiva y continua de todos los parámetros necesarios para lograr la mejora recomendada.
- La aplicación es generalmente utilizada en las plantas donde hay varias mejoras relacionadas entre sí.

Opción D: Análisis por simulación

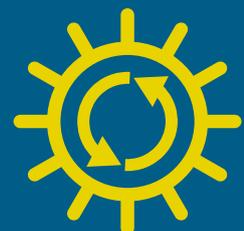
- Análisis calibrado utilizando programa de simulación.
- El programa puede simular o predecir consumo energético y/o consumo de escenarios de referencia.
- Se utiliza generalmente cuando no existe o no están disponible los datos de referencia. También se utiliza cuando los consumos a medir están encubiertos por otros factores difíciles de cuantificar. En caso que las opciones A, B y C sean muy difíciles de cuantificar o son muy costosas se puede usar esta opción D.







USOS INADECUADOS DE ENERGÍA Y LAS BUENAS PRÁCTICAS PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA



5

USOS INADECUADOS DE ENERGÍA Y LAS BUENAS PRÁCTICAS PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

El uso de la energía ha sido fundamental para el desarrollo mundial, desde los inicios de la industrialización esta ha sido utilizada en forma desmedida e irracional, nuestro país que también aspira a la industrialización no ha sido la excepción y es por eso que se debe impulsar las buenas prácticas en el uso de esta energía.

5.1 Buenas Prácticas (BP) para evitar usos inadecuados de la Energía

Los hábitos inadecuados y las malas prácticas operativas ocasionan ineficiencias y mayores consumos de energía. A continuación se presenta para los principales equipos de procesos una lista de malas prácticas y la correspondiente buena práctica y/o solución para el uso eficiente de la energía en la planta.



Hornos

- El horno de clinkerización se opera a temperaturas superiores a las requeridas en el proceso. Implementar un sistema de control que permita mantener la temperatura en el punto de consigna (*mediana inversión*)
- La operación intermitente del horno de clinker, ello ocasiona mayores consumos de combustible en los arranques. Identificar los parámetros y/o condiciones operativas que afectan la continuidad operativa del horno a fin de monitorearlos y controlarlos. Monitorear la adecuada relación aire-combustible, el estado físico y desgaste de quemadores. Reemplazar los quemadores por otra más eficiente (mediana inversión). Programar la operación del horno en coordinación con la programación de producción.
- Una relación aire/combustible no óptima según el tipo de combustible e inadecuada al tipo de los quemadores, ocasionando mayor consumo de combustible. Monitorear en el horno de clinker la adecuada relación aire-combustible, según el combustible utilizado, en caso de utilizar combustibles en forma dual o trial, determinar la relación óptima en base a la proporción de cada uno en la mezcla. Implementar un sistema de control automático de la combustión, (*mediana inversión*).
- La falta de aislamiento en los hornos y equipos térmicos y falta de mantenimiento en los mismos, lo que ocasionan pérdidas de calor. Realizar periódicamente una termografía de la coraza del horno para identificar las áreas con temperaturas fuera de lo estándar y con ello reemplazar el aislamiento defectuoso para evitar

las pérdidas por radiación al exterior (*baja inversión*).

- No se aprovechan debidamente los calores residuales para el precalentamiento de procesos. Implementar intercambiadores de calor para recuperar el calor residual y calentar el aire de combustión (*alta inversión*).
- Inadecuadas tecnologías para el manejo de las materias primas. Mejorar el acarreo de las materias primas con la implementación de rieles para reducir tiempos y movimientos para el flujo de materia prima al interior del horno, (*mediana inversión*).
- Implementar un intercambiador de calor para aprovechar calores residuales de proceso y con ello secar las materias primas antes de su ingreso al horno, (*alta inversión*).
- Aplicación de los sistemas para mantenimiento predictivo, tanto los colectores de datos de vibración portátiles como los modernos sistemas de monitorización en continuo (on-line). Un fallo en la cadena de transmisión de potencia que mueve el horno de cemento provoca la parada de la producción de la planta. Los motores y reductores son equipos críticos y deberían ser monitoreados para anticiparse a eventuales fallas operativas.

Molinos

- Se presentan altos consumos específicos de energía en los molinos. Utilizar molinos verticales y prensas de rodillos que son energéticamente más eficientes que los molinos de bolas, (*alta inversión*).
- Revisar alineamientos de los ejes, corregir pérdidas por fricción, desgastes de acoplamientos. Monitoreo periódico de las vibraciones con el analizador de vibraciones, evaluando los espectros de resultados para las acciones correctivas
- Molinos operan a baja carga. Mejorar el sistema de alimentación a molinos, implementar un monitoreo y control automático de la carga al molino para que éste opere a su carga óptima (cercana a la nominal). Este control puede considerar la implementación de un variador de velocidad —que viene con funciones de PLC— en el alimentador al molino para que entregue la carga requerida (toneladas/hora) para mantener la corriente eléctrica demandada por el motor del molino en el valor de corriente nominal, punto de mejor eficiencia operativa del molino. Sistema de control que se puede integrar al PLC de planta, (*mediana inversión*).
- Poco uso de las herramientas de monitoreo en la operación. Aplicaciones del mantenimiento predictivo en molinos Los molinos de cemento son equipos relevantes en la cadena productiva de las fábricas de cemento. Monitorear parámetros operativos críticos y estado de motores, reductores, quemadores, ventiladores, ejes de transmisión aplicando las técnicas de mantenimiento predictivo. (*baja inversión*)
- Sistema de carga ineficaz. Mejorar la carga al molino con sistemas de pesaje y alimentadores automáticos con diseño para alimentación precisa de materiales a granel y en polvo, (*mediana inversión*).



Motores

- Falta de monitoreo y automatización con enclavamientos para evitar la operación en vacío de los motores eléctricos, lo que ocasiona mayores consumos. Implementar sistemas de control con programas de control discreto (On-Off) en Diagrama de Escalera (Ladder Diagram) incorporados a un PLC o al sistema SCADA de la planta, (*mediana inversión*).
- Falta de arranque secuencial de los motores eléctricos, causando picos de demanda por arranque en simultáneo de motores. Implementar sistemas de control con programas de control discreto (On-Off) en Leguaje de Escalera (Ladder Diagram) incorporados a un PLC o al sistema SCADA de la planta, (con inversión). Se evitan picos en el arranque implementando arrancadores electrónicos estáticos - Soft Start, (*mediana inversión*).
- Malas prácticas operativas al operar motores eléctricos a baja carga (con potencia al freno muy por debajo de la potencia nominal del motor) y con ello a muy bajas eficiencias, ocasionando consumos de energía eléctrica mayores (*baja inversión*).
- Identificar los parámetros y/o condiciones operativas que determinan la baja carga de los motores a fin de mejorar la programación de procesos. En muchos casos se resuelve con la implementación de variadores de velocidad en lazos de control que permita operar los motores a plena carga, (*mediana inversión*).
- La implementación de un variador de velocidad (VFD) para operar el

ventilador que extrae los gases de combustión del horno de clinker en un lazo de control automático permite regular el flujo que el ventilador succiona, manteniendo un mínimo de presión positiva en el horno y así evitar infiltraciones de aire falso que reducen la eficiencia de combustión (*mediana/alta inversión*)

- Malas prácticas que se presentan cuando se realiza el intercambio de motores en procesos productivos o por uso de motores que se tienen en almacén y que están sobredimensionados para la aplicación productiva. Adquirir los motores en la potencia al freno (HP) que requiere cada operación específica y no sobredimensionada en potencia, (*mediana inversión*).
- Falta de monitoreo y registro de motores eléctricos reparados para poder conocer las pérdidas y reducciones en eficiencia, información decisiva para la toma de decisiones de cambio y reemplazo de motores. Programar el reemplazo de motores de eficiencia estándar por motores de alta eficiencia, (*alta inversión*). Asimismo en el futuro para las ampliaciones de planta asegurarse que los motores que se adquieran sean motores de alta eficiencia, (*con inversión*).
- Al adquirir un motor de alta eficiencia se puede realizar una evaluación económica de la recuperación de la inversión, considerando los ahorros anuales en costos operativos durante su vida útil en comparación con los mayores costos operativos que se tendrían con motores de eficiencia estándar de la misma potencia, (*con alta inversión*).



- Cuando se tenga que cambiar fajas de transmisión, cambiarlas por las de alta eficiencia, con coeficientes de fricción reducidos, tanto en fajas planas, trapezoidales como multipista y estriadas, reduciendo con ello las pérdidas de energía por fricción (*con alta inversión*)
- Determinar mediante mediciones de energía reactiva la oportunidad de mejorar el factor de potencia implementando banco de condensadores individuales en el tablero local de los motores de potencia significativa, (*mediana inversión*).
- Falta de mantenimiento tanto en el motor como en los acoplamientos y sellos mecánicos a los equipos conducidos, así como a los tableros eléctricos (*mediana inversión*)
- Efectuar mediciones periódicas con el telurómetro a fin de verificar la conductividad en rangos aceptables de los pozos de tierra de la planta. Efectuar mediciones periódicas con el megómetro para identificar fugas de corriente en los conductores eléctricos y en las instalaciones eléctricas de planta. (*baja inversión*)
- Realizar un mantenimiento predictivo con instrumentación portátil (detector infrarrojo, analizador de vibraciones, otros) a fin de evitar deterioro en los motores y evitar fallas futuras. (*baja inversión*)
- Hacer un análisis periódico de los parámetros eléctricos operativos de los motores y de los tableros eléctricos más relevantes de procesos con un analizador de redes, de forma

que se pueda llevar un registro de las pruebas como registro del área de mantenimiento y determinar la confiabilidad operativa de los equipos eléctricos, (*mediana inversión*).

Compresores

- Se opera con mayor presión de operación en el compresor para compensar las pérdidas de presión por las múltiples fugas en la red de distribución de aire comprimido. Identificar las fugas de aire en la red en un monitoreo con un equipo de detección ultrasónico y reparar las líneas. Colocar el valor de la presión deseada como punto de consigna (set point) en el compresor de acuerdo a las necesidades de planta (*baja inversión*)
- Hay caídas de presión en la red por la demanda simultánea de aire comprimido de los equipos. Hacer un análisis de los puntos en la red en los que estén instalados equipos de alta demanda de aire comprimido y cuya operación produzca caídas de presión en la línea, en las cercanías se requiere instalar tanque pulmón para mantener la presión en los valores operativos, sobre todo cuando la demanda de aire es fluctuante con carga intermitente con flujos apreciables, (*mediana inversión*).
- Presencia de fuentes de calor en las cercanías de la admisión de aire al compresor. Reubicación de la toma de aire con ampliación del ducto de succión del compresor para admitir aire más frío, pero no húmedo; teniendo en cuenta que cada 4 °C de aumento de temperatura en el aire aspirado aumenta el consumo de energía en 1% para el mismo flujo (*baja inversión*)





- Se utiliza compresores para aplicaciones que requieren poca presión. Evitar las operaciones en vacío. Identificar opciones alternativas de suministro o de reducción de presión a través de reguladores de presión (*baja inversión*)
- Se utiliza el compresor en forma continua aun cuando el proceso no lo requiera. Controlar la operación innecesaria del compresor instalando programadores horarios para desplazar cargas fuera de las horas punta (18:00 a 23:00 horas), evitando mayores costos en energía. Instalar sensores de presión en las líneas conectados a un temporizador enclavado operativamente con el motor para detener el compresor luego de un lapso operando a la presión máxima (sistema se presuriza ante la falta de consumo). Evaluar el cambio a un motor de alta eficiencia para el compresor, complementariamente evaluar la instalación de un compresor de baja potencia para operar en los períodos de baja demanda, (con inversión). Asimismo reemplazar los aceites lubricantes minerales por aceites sintéticos, se logran ahorros de energía entre el 7% y el 10% por menores coeficientes de fricción de los aceites sintéticos, con beneficios adicionales de mejor protección contra el desgaste, mayor vida útil para los equipos, menor consumo de repuestos, operación a mayores temperaturas sin degradación del aceite o disminución de su vida útil, mayor confiabilidad en la operación de los equipos y mayor protección del medio ambiente por el menor número de cambios de aceite y por ser biodegradables (*mediana inversión*)
- Para la operación eficiente de varios compresores instalados en paralelo, implementar un sistema de control para múltiples compresores con el objetivo de secuenciar (ingreso/salida) la operación de los compresores para mantener la presión constante la presión de suministro, según los requerimientos de aire y eficiencias operativas de cada compresor en función a la carga. Una solución eficaz es incorporar el esquema de control en el PLC. (*baja inversión*)
- No se aprovecha el calor residual de los interenfriadores o postenfriadores Usar el calor residual del compresor para calentar agua para el proceso o para ser usado el calor en alguna área de producción. Implementar intercambiadores de calor para hacer uso de los calores residuales. Evaluar la implementación de una "bomba de calor" (heat pump) para que a través de equipos de refrigeración operando en un ciclo de Carnot Invertido, se pueda llevar los calores residuales de baja entalpía a calores de mayor entalpía para su uso en procesos (*mediana inversión*).
- Filtros de aire sucios en compresores y en los equipos de aire comprimido. Monitorear periódicamente las caídas de presión a través de los filtros y reemplazarlos cuando se tengan caídas de presión significativas. Cada 25 mbar de pérdida de presión en la aspiración ocasiona una reducción de 2% en el rendimiento del compresor. Se pueden instalar manómetros diferenciales con seteo de diferencial de presión y con contactos eléctricos para dar alarma al llegar al valor seteado de diferencial de presión. En su defecto instalar un

sensor con transmisor que lleve la señal al PLC (*baja inversión*)

- Equipos parados por falta de suministro de aire durante la reparación de fugas de aire en la red o en equipos. Implementar válvulas solenoide para aislar sectores de la red o equipos bajo mantenimiento por fugas, a fin de dar continuidad operativa a otros equipos de la red. Mejorar la confiabilidad del suministro de aire comprimido a los equipos mediante la implementación de una topología de red en anillo, de modo que al salir fuera de servicio una tubería por la que se alimentan de aire varios equipos, éstos se puedan seguir alimentando por el tramo no afectado de la tubería del anillo que trae el flujo del otro sentido.
- La pérdida de presión máxima permisible, en el sistema de tuberías, no debe ser superior a un 2% de la presión del compresor, así si se trabaja con 7 bar, la máxima caída permisible será de 0,14 bar⁴ y las caídas de presión en las tuberías secundarias de distribución no deben ser superiores a 0,1 bar.
- La instalación de tuberías debe considerar una pendiente entre 0,5 y 2% máximo en la dirección del flujo, la distancia entre los puntos de drenaje en las tuberías no debe ser superior a 30 m. La alimentación desde las tuberías secundarias a las líneas de servicio a los equipos debe hacerse de la parte superior de las tuberías para evitar arrastrar eventuales gotas de agua condensadas en el flujo del aire.

Bombas

- Operación de las bombas a flujos y presiones diferentes a las del diseño original, asimismo hay intercambio de bombas en la planta con desconocimiento de las características del proceso. Hacer un inventario de las bombas y sus capacidades, determinar las necesidades de flujo y presión en los procesos en los que trabajan estas bombas; con esta información identificar las bombas de planta cuyas capacidades y presiones coinciden con las que requiere el proceso y reasignarlas a otra ubicación en la planta, donde puedan operar en condiciones cercanas a la nominal: Las bombas que no tengan estas características debieran ser desmontadas para reemplazarlas por bombas nuevas con las características de flujo y presión que demandan los procesos, por los mayores costos operativos que se tienen cuando se operan las bombas en puntos de baja eficiencia (*mediana inversión*)
- Operación de las bombas con estrangulamiento de la válvula de descarga para condiciones de carga parcial. Implementar variadores de velocidad para reemplazar el estrangulamiento de las válvulas de descarga de las bombas, reduciendo las pérdidas de eficiencia hidráulica y de energía al operar en puntos de mayor eficiencia, demandando menor potencia eléctrica en las bombas.
- Poner particular atención a las bombas en paralelo, adicionar más bombas puede hacer que el sistema



4 E.T.S. Ingenieros Industriales, Universidad de Sevilla, España
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4910/fichero/Documento+C.+Anexos%252FAnexo+9.+Aire+Comprimido.pdf>

total sea progresivamente menos eficiente. En ampliaciones o proyectos energéticos nuevos evitar el sobre dimensionamiento de las bombas.

- Una sola bomba de gran capacidad para atender todo el proceso. Seleccionar una bomba eficiente y operarla cerca de su flujo de diseño, controlando las horas de operación, en particular durante horas punta. En bombas de gran capacidad, es necesario un programa de monitoreo para calcular el periodo óptimo de renovación. Se debe comprobar si la presión de operación de la bomba es la requerida por la instalación (*mediana inversión*)
- La operación e instalación progresiva de bombas en paralelo para cubrir una demanda de flujo creciente, es una solución menos eficiente que si se usara una sola bomba con un flujo igual al de la totalidad de las bombas.
- Incremento en la presión de descarga de las bombas para compensar las fugas en tuberías, sellos mecánicos y en válvulas. Programar la reparación de fugas dentro de un programa de mantenimiento predictivo (*baja inversión*).
- Utilización de bombas de alta capacidad en aplicaciones de poca capacidad. Evaluar la alternativa técnico-económica y reemplazar por bombas de menor capacidad para aplicaciones específicas (*mediana inversión*).
- Evitar utilizar las bombas a carga parcial, en condiciones distintas a las nominales. Cambio de impulsor por uno de menor capacidad o

condicionar la geometría del actual y con ello reducir pérdidas por operar en puntos de baja eficiencia (*mediana inversión*).

- Efectuar el mantenimiento predictivo con instrumentación portátil para evitar salidas de servicio de las bombas por fallas previsibles. Complementariamente cumplir con el mantenimiento preventivo acorde con las especificaciones del fabricante.
- Evaluar la opción de redimensionamiento de tuberías y accesorios para optimizar la operación de la bomba, considerando que los diámetros de las tuberías se dimensionan para una velocidad interna (m/s). Diámetros menores y el exceso de cambios de dirección producen pérdidas de presión, que obligan a las bombas a operar en forma ineficiente (*mediana inversión*)
- Evaluar el reemplazo del motor de las bombas por un motor de alta eficiencia, particularmente en bombas con significativo número de horas de operación al año, logrando con ello reducir los consumos de energía (*mediana inversión*).
- Evaluar la implementación de controles automáticos de presión y flujo en los circuitos hidráulicos. Implementar lazos de control para el control de presión, flujo y temperatura en la línea de descarga de las bombas relevantes. La forma más efectiva es integrando el control en un PLC (*mediana inversión*).

Iluminación

- Lámparas encendidas durante periodos no productivos, en planta



- y en las zonas de almacenes sin la presencia de personal al interior. Implementar temporizadores (timers), sensores fotoeléctricos o sensores de ocupación, para conectar-desconectar las lámparas (*baja inversión*).
- Lámparas de varias áreas se encienden con un solo interruptor. Sectorizar la iluminación implementado interruptores individuales por área o sectores de la planta (*baja inversión*).
 - Existencia de lámparas fluorescentes con montaje a gran altura con iluminación de poca efectividad. Sustituir por lámparas LEDs de mayor eficacia lumínica (lúmenes/Watt) y de mayor vida útil (*mediana inversión*).
 - Lámparas encendidas para efectuar tareas de mantenimiento o limpieza en horarios no productivos. Encender selectivamente las lámparas solo en las zonas de mantenimiento. Trasladar las horas de mantenimiento y limpieza a horario diurno (*baja inversión*).
 - Iluminación innecesaria en algunas áreas. Instalar sensores de movimiento ultrasónicos o infrarrojos para encender-apagar lámparas (*baja inversión*).
 - Falta un programa (revamping lamps) para retirar sosteniblemente las lámparas quemadas de las luminarias, ocasionando un consumo innecesario de energía (reactor). Retirar las lámparas defectuosas de las luminarias que ocasionan un innecesario consumo de energía (reactor y lámpara) (*baja inversión*).
 - La suciedad en las lámparas reducen la iluminancia en las zonas de trabajo.
- Efectuar un programa periódico de limpieza de polvo en las lámparas (*baja inversión*).
- Excesiva iluminación artificial en horario diurno. Pintar de color claro las paredes y techos de las áreas de producción y oficinas administrativas. De esta forma se logra mayor uso de la luz natural, evitando un innecesario consumo de energía (*baja inversión*).
 - Controlar las horas de operación, en particular en horas punta.
 - Apagar las lámparas innecesarias y reducir al mínimo imprescindible la iluminación en exteriores. Evitar iluminar áreas innecesariamente, verificar los estándares de iluminación por áreas con un luxómetro versus la densidad lumínica recomendada (lux) según el uso del ambiente (*baja inversión*).
 - Sectorizar los circuitos de iluminación de un área de trabajo, para no depender de un solo interruptor y se pueda iluminar solo los sectores necesarios.
 - Reemplazar lámparas por otras de mayor eficacia (lúmenes/Vatio) en áreas de producción y en oficinas administrativas (*baja inversión*).
 - Realizar un programa de reemplazo de balastos electromagnéticos por electrónicos, que tienen un mejor factor de potencia.
 - Implementar de sensores de ocupación, en particular en áreas de almacenamiento y en áreas de tránsito.
 - Utilizar lámparas halógenas en lugar



de vapor de mercurio, en planta de producción. Igualmente efectuar el reemplazo de lámparas de vapor de sodio en áreas de almacenamiento (*baja inversión*).

- Efectuar el reemplazo de lámparas por tecnología de LEDs en la planta de producción y en oficinas administrativas
- Implementar temporizadores (timers) o sensores de luz natural para encender/apagar luminarias exteriores.
- Implementar "dimmers" para reducir la intensidad de iluminación en periodos en los que se requiera menor intensidad de luz.

Sistema eléctrico general



- Falta modulación de la carga, se operan demasiados equipos en las horas punta (18:00 a 23:00 horas). Identificar equipos cuya operación se pueda trasladar a horas fuera de punta.
 - Hay significativo consumo de energía reactiva. Implementar un banco de condensadores para compensar la energía reactiva. De tener ya un banco de condensadores operando, revisar si los capacitores están operando o si el control está conectando según las etapas de trabajo asignadas (*mediana inversión*).
 - Carencia de diagramas unifilares o no se actualizan. Actualizar los planos según ampliaciones de planta.
 - No se controla la máxima demanda en horas de punta. Implementar un controlador de máxima demanda o en su defecto un analizador de redes
- con salida discreta (contactos secos) para dar alarma y/o rechazar cargas, y así evitar sobrepasar el límite fijado de demanda en la planta (*baja inversión*).
- Se tiene transformadores operando con baja carga o sobrecargados. Evaluar la compensación de energía reactiva en transformadores operando con baja carga (*mediana inversión*).
 - Evaluar en un caso la distribución de carga entre los transformadores de la subestación y reasignar cargas para balancear la red. Si operara sobrecargado, adquirir un nuevo transformador para operar en paralelo, ambos deben tener la misma corriente de cortocircuito (*alta inversión*).
 - Se mantienen equipos obsoletos que ocasionan gran consumo de energía. Cambiar equipos (motores ineficientes, transformadores, interruptores, etc) por nuevos equipos de alta eficiencia (*mediana inversión*).
 - Se observa un crecimiento desordenado del sistema eléctrico de la planta como producto de la exigencia del proceso. Se debe planificar en base al diagrama unifilar de modos que se tenga en cuenta aspectos de balance de fases en los circuitos de potencia.
 - Se utilizan conductores con muchos años de antigüedad que presentan recalentamiento, deterioro, pérdidas de aislamiento y fugas de corriente. Considerar la renovación progresiva de los equipos o cableado obsoletos (*baja inversión*).
 - Falta controlar la calidad de la energía en la planta. Realizar la

modulación de la carga. Monitorear y controlar la operación de equipos no imprescindibles en el proceso productivo dentro de las horas punta (18:00 a 23:00 horas). Evaluar la aplicación de rechazo automático de cargas.

- Hacer un monitoreo en forma periódica del correcto funcionamiento de los bancos de condensadores.
- Identificar la ubicación correcta del banco de condensadores, que compensan la energía reactiva, sea en la compensación global (en la subestación) y parcial e individual (a nivel de equipos) (*mediana inversión*).
- Actualizar periódicamente los diagramas unifilares, según las ampliaciones de planta y/o modificaciones de la red.
- Evitar que los transformadores operen con baja carga o sobrecarga.
- Planificar el crecimiento del sistema eléctrico de la planta a medida que lo requiere el proceso productivo.
- Evaluar técnica y económicamente el cambio de nivel de tensión de baja tensión a media tensión, en función a las inversiones a realizar y a los ahorros en costos en la facturación eléctrica por menor tarifa. Evaluar si la facturación eléctrica actual es la mejor opción tarifaria según la estructura horaria de la demanda y las posibilidades de traslado de cargas a horas fuera de punta (*baja inversión*).
- En consumos cercanos a los 1000 kW evaluar la conveniencia de ser aplicado para ser considerado cliente

libre o regulado, teniendo la ventaja de poder definir como horas punta para la planta las que se acomoden a la operación de la planta y que no necesariamente deba suceder entre las 18:00 y las 23:00 horas. Evaluar la factibilidad técnico económico de contratar directamente con una empresa generadora de electricidad pagando el peaje a través de las líneas de transmisión hasta llegar a la planta (*mediana inversión*).

- Evaluar la instalación de controladores de máxima demanda con la opción de alarma y/o actuación para sacar cargas de servicio y trasladarlas a horas fuera de punta. Implementarla en los procesos en el tablero general y en los tableros de distribución. Ello redundará en controlar los altos costos de la energía en las horas punta. Estos controladores de máxima demanda pueden ser parte de la operación de los analizadores de redes, cuya alternativa de implementación resulta más completa que la de solo un controlador de máxima demanda (*mediana inversión*).
- Registrar y controlar los consumos de energía en áreas prioritarias del proceso mediante la instalación de equipos de medición.
- No se controla la calidad de la energía en la planta. Monitorear la calidad de la energía en forma periódica mediante el uso de analizadores de redes (*mediana inversión*).
- Considerar la implementación de filtros para corregir la distorsión armónica que se tiene en planta debido a la gran cantidad de equipos electrónicos (*mediana inversión*).



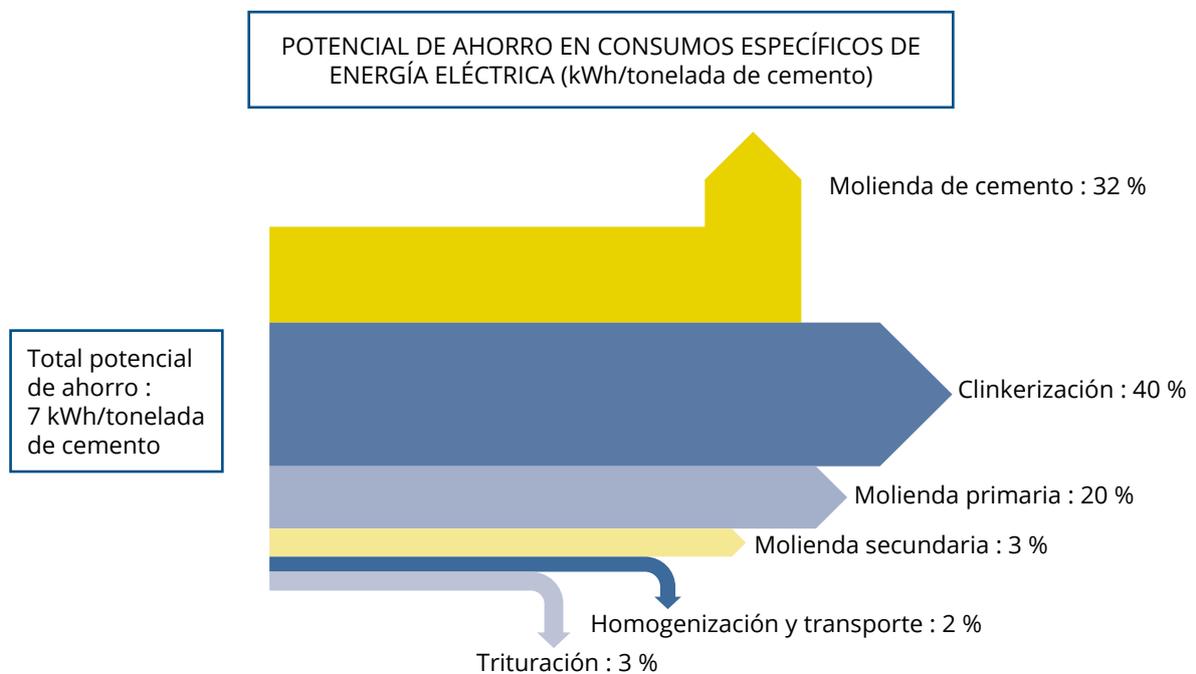
Los rangos de inversión de las mejoras energéticas se muestran a continuación:

- Menos de US\$ 10,000 es Baja inversión
- De US\$ 10,000 a US\$ 100,000 es Mediana inversión
- Más de US\$ 100,000 es Alta inversión

5.2 Oportunidades de mejoramiento u optimización

A modo de ejemplo ilustrativo en la figura N 7, se muestran los potenciales de ahorros de energía eléctrica en una planta de cementos.

Figura 8.
Distribución del potencial de ahorro en consumos específicos de energía eléctrica en una planta cementera



Fuente : Mejoramiento de la eficiencia energética en la industria del cemento por proceso húmedo a través de la implementación del sistema de gestión integral de la energía; Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia; <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n177/v80n177a14.pdf>

5.3 Nuevas Tecnologías y su contribución en la Eficiencia Energética

- **Nuevas tecnologías en el mercado para la eficiencia energética en la industria cementera**

Mejoras tecnológicas en los procesos de fabricación de cemento, como variadores de velocidad en los motores de ventiladores, extractores, bombas, fajas transportadoras, a fin de operar tales equipos en los puntos de eficiencia óptima, reduciendo los consumos por operaciones a baja carga.

Controladores Lógicos Programables (PLCs) independientes (slaves) en los diversos procesos integrados a un PLC central (host) para que mediante el control automático de las operaciones se operen los equipos en las condiciones óptimas de temperatura, presión, nivel y de proporcionalidad óptima de mezclas. Asimismo para la preparación y análisis automatizado de procesos en línea, todo ello para reducir los consumos específicos de energía térmica y eléctrica.

Control automático de la combustión, manteniendo en el horno de clinker la relación óptima aire/combustible definida para cada tipo de combustible⁵, tanto en la quema con combustibles individuales, duales o triales. La automatización vía PLC es una opción eficaz.

Precalentadores para aprovechar los calores residuales del horno de clinker, sea para el secado de materias primas y/o para

el proceso de precalcinación. En este último proceso se logran ahorros significativos de energía de calentamiento para hacer el clinker, teniendo como resultado un menor consumo específico de energía térmica (menos energía consumida por tonelada de clinker producido).

Molinos verticales y prensas de rodillos que son energéticamente más eficientes que los molinos de bolas. Esta opción es la que ofrece el menor consumo específico de energía.

Analizador de redes en la subestación eléctrica para el monitoreo on-line de los parámetros eléctricos de planta (tensión, demandas de energía activa y reactiva, factor de potencia, etc.) y para dar señales de salida de control para alarmas por máxima demanda y permitir traslado de cargas, actuar sobre equipos.

Técnica de termografía aplicada a la superficie de la coraza del horno para hacer un mapeo de temperaturas, útil para identificar pérdidas de calor por radiación al exterior por asilamiento defectuoso.

Tecnologías de faja-balanza en línea para medir el flujo instantáneo de materiales a granel o en polvo (toneladas/hora) que está transportando una faja⁶.

Tecnología LED para la iluminación de planta y almacenes. Se debe identificar la densidad de iluminación recomendada ($\text{lux}=\text{lúmenes}/\text{m}^2$) según el uso del



⁵ http://www.engineeringtoolbox.com/fuels-combustion-efficiency-d_167.html

⁶ <http://www.beltwayscales.com/>

ambiente a iluminar. Ver Norma EM-010 del Reglamento Nacional de Edificaciones.⁷

Transporte neumático como método energéticamente eficiente para transportar el cemento dentro de los sistemas de producción y para el llenado de los silos.

Tecnología de radar con sensores de nivel en silos para el monitoreo on-line y en forma permanente del nivel, considerando que se extrae material incluso durante el proceso de llenado del silo. Esta tecnología sin contacto, ha sido probada con éxito, ofreciendo importantes ventajas en condiciones operativas especialmente duras como las que se presentan en la industria cementera.

Extractor centralizado de polvos de los equipos en una red de ductos, con un filtro de bolsa y ciclón para la recuperación de finos al final del proceso. La proliferación de extractores individuales (uno en cada equipo) genera mayor consumo total de energía eléctrica.

Variador de velocidad (VFD) para operar el ventilador (extractor de gases) en un lazo de control automático para permitir regular el flujo que el ventilador succiona del horno de clinker, para mantener un mínimo de presión positiva en el horno y así evitar infiltraciones de aire falso que afectan la adecuada relación aire-combustible en el horno, ocasionando pérdidas de energía térmica.

Sistemas de control de presión negativa en la zona de molinos para evitar las emisiones fugitivas al ambiente exterior.⁸

Monitoreo periódico de la potencia específica de los compresores de aire, definida ésta como el ratio entre la potencia eléctrica demandada-medible (kW) y el flujo producido (cfm). Este indicador permite comparar eficiencias de los compresores de planta para adoptar decisiones.

- **Nuevos materiales y sustitución de materias primas**

Dentro del alcance de la necesidad de proteger el ambiente, se busca sustituir materias primas de la industria cementera identificando nuevos materiales. El objetivo es lograr un máximo de sustitución de materiales no renovables.

La utilización de residuos como materias primas alternativas conlleva a una menor necesidad de explotación de canteras, reduciendo con ello la huella ambiental. La sustitución del clinker en la producción del cemento es otro ejemplo de la contribución positiva del sector a la gestión de los recursos. El uso de materiales alternativos en la industria cementera reduce las emisiones globales de CO₂ y no tiene un impacto negativo en el proceso de producción ni en las emisiones o en la calidad técnica del producto final.

En la fabricación del clinker se ofrece la posibilidad simultánea de la recuperación material y energética de los componentes individuales de las llantas usadas. El alto poder calorífico del caucho se utiliza como sustituto de combustibles y los componentes inertes (principalmente hierro y aluminio) como sustitutos de



7 http://www.construccion.org.pe/normas/rne2011/rne2006/files/titulo3/04_EM/RNE2006_EM_010.pdf
Fuente IDAE http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10055_GT_aprovechamiento_luz_natural_05_c7e314e8.pdf

8 <http://thavan.org.in/thao/vertical-roller-mills-and-how-they-are-controlled-by-negative-pressure.html>

materias primas. Si la materia prima natural no contiene suficiente hierro, el uso de neumáticos ayuda directamente a obtener los requerimientos necesarios del producto. Basándose en una larga y exitosa experiencia en el coprocesado de neumáticos, Alemania los ha incluido en la lista de materiales apropiados para el proceso de fabricación del clínker. Es necesario señalar que los neumáticos contienen una cantidad significativa de carbono biogénico (31% debido al contenido de caucho natural) y, por lo tanto, su utilización implica directamente una reducción del CO₂. Dependiendo del lugar del proceso por donde se introduzcan, los neumáticos pueden contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de óxido de nitrógeno.

En 2007 se usaron en España 5,2 millones de toneladas de escorias y cenizas volantes como componentes alternativos del cemento, con lo que se evitó la emisión de más de 4 millones de toneladas de CO₂.

Las materias primas alternativas se pueden utilizar para sustituir las materias primas tradicionales extraídas de las canteras, como las arcillas, esquistos y calizas que se introducen en el horno. Algunos ejemplos de materias primas alternativas son los suelos contaminados, residuos de limpieza de carreteras y otros residuos que contienen hierro, aluminio o sílice, y escorias de alto horno. Las materias primas alternativas deben tener una adecuada composición química para asegurar que proporcionan los componentes necesarios para la formación del clínker.

Las emisiones de CO₂ provenientes de la biomasa son consideradas neutras. Más del 20% de los combustibles alternativos utilizados por la industria cementera

europea son biomasa, como las harinas animales y los lodos de depuradora. Si el sector cementero tuviera mayor acceso a la biomasa, su utilización podría desarrollarse aún más. Algunos combustibles alternativos usados en la industria cementera contienen un alto porcentaje de biomasa, ya que incluyen fracciones de madera, celulosa o caucho natural. Igualmente, las emisiones de la industria cementera provienen en su mayor parte de la producción de clínker. Si se reduce el contenido de clínker de acuerdo con las normas de calidad, se reduce la energía necesaria para producirlo y, por tanto, las emisiones correspondientes.

Hasta hace poco, la única solución para los lodos de depuradora era tirarlos en un vertedero o utilizarlos en la agricultura. Sin embargo, ahora se pueden utilizar como combustible y materia prima alternativos en el proceso de fabricación del clínker. Es importante precisar que hay un excedente de lodos y, por lo tanto, es necesario estudiar formas alternativas de procesamiento. Holanda y España son dos ejemplos de países donde la industria cementera proporciona soluciones para los lodos de depuradora. Desde marzo de 2000, la planta de cemento de ENCI ubicada en Maastricht (Holanda) ha estado trabajando, junto con la planta de depuración de Limburg, recibiendo lodos pretratados de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Hoy, 80.000 toneladas de lodos secos de depuradora son procesados anualmente en el horno, que tiene una capacidad de producción de 865.000 toneladas de clínker al año.

Cuando entre en operación la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Taboada" en Perú, los lodos secos generados en ella podrían ser usados



en la producción de clínker, tanto por el aporte de calorías al quemarse como por los componentes que aporta como por la materia prima que aporta al proceso.

• Nuevos tipos de cemento

La producción de cemento tradicional (o cemento Portland) se realiza en un proceso muy intensivo en energía y es una gran fuente de CO₂. Para transformar la mezcla de materiales que constituye la materia prima en el producto final se usan hornos con temperaturas de 1 450 °C.; la reacción química de transformación de los materiales libera CO₂. Es cierto que una vez en uso en el hormigón, el cemento al fraguar absorbe CO₂, pero el balance final es que la producción de 1 tonelada de cemento Portland provoca la emisión de 0,4 toneladas de CO₂. Con 2 billones de toneladas producidas anualmente, la industria cementera es responsable del 5% de las emisiones mundiales de CO₂, por delante de la aviación.



- Evaluar la posibilidad de fabricar “cemento ecológico”, como nueva generación de cementos respetuosos con el medio ambiente que permiten reducir casi por completo las emisiones directas de CO₂ a la atmósfera. Para conseguirlo, se sustituye la piedra caliza como materia prima por residuos sólidos

Con esta nueva técnica de producción se logra un triple objetivo: realizar una gestión eficaz de los residuos a través de su reciclaje, contribuir a la preservación de los recursos

naturales del planeta y evitar la emisión directa de gases de efecto invernadero a la atmósfera, a través de la eliminación de la calcinación de la materia prima. La tecnología desarrollada permite reducir en aproximadamente la mitad la demanda energética en el proceso de síntesis del cemento.

- En el 2009 la empresa británica Novacem⁹ anunció el desarrollo de un nuevo tipo de cemento que contribuye a reducir la emisión de gases de efecto invernadero en el ciclo de vida del producto. El cemento desarrollado está basado en una tecnología completamente diferente al cemento portland tradicional, al crearse a partir de silicatos de magnesio -cuyo balance de carbono es negativo-, ya que el CO₂ que emite durante su fabricación lo compensa con el que absorbe una vez construido. No se utiliza el carbonato de calcio (cal) sino silicato de magnesio a una temperatura de 650° C, muy inferior a la del cemento convencional.
- Este nuevo cemento emite cantidades mínimas de dióxido de carbono cuando es fabricado y mientras envejece absorbe gases de efecto invernadero. El cemento ecológico de Novacem tiene la misma calidad estructural que el portland tradicional y, lo más importante, durante el proceso de endurecimiento es capaz de capturar 100 kg de CO₂ por tonelada, pudiendo llegar a 900 kg. El nuevo tipo de cemento

9 <http://twenergy.com/a/novacem-el-cemento-ecologico-674>

conseguirá obtener un balance de -0.6 toneladas de CO₂ por cada tonelada producida de este nuevo material, es decir, producir este tipo de cemento retira CO₂ de la atmósfera, considerando todo el ciclo de vida. Esta mejora se justifica por el hecho de utilizar materiales que necesitan menores temperaturas de proceso, entorno a los 650 °C, de esa manera se ahorra energía y emisiones. Pero la clave está en que la nueva formulación absorbe mucho más CO₂ en su uso.

- Existen otras prácticas que sirven para hacer del hormigón algo más verde, como utilizar cenizas u otros productos de rechazo en la producción de hormigón. Este nuevo tipo de cemento está aún en su fase de desarrollo, de ser viable, desde luego será un gran avance para hacer de la construcción una actividad sostenible.
- En el 2013 investigadores de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) junto a científicos de la Universidad Jaume I de Castellón, del Imperial College de Londres y de la Universidade Estadual Paulista de Sao Paulo; han desarrollado un tipo de cemento a partir de residuos cerámicos. Su principal característica es que no contiene cemento portland, lo que lo convierte en un material más sostenible que los empleados actualmente, está compuesto únicamente por el residuo cerámico, una sustancia química activadora y agua.

En el proceso para obtener este cemento primero se trituran los ladrillos, se muelen y se mezclan con la disolución activadora; inmediatamente se amasa junto con el árido y el cemento ya está preparado para ser colocado en moldes y sometido a un proceso de endurecimiento especial a alta temperatura. Se ha trabajado con residuos de ladrillos, de cerámica sanitaria (lavabos e inodoros) y de gres porcelánico como base, obteniendo un producto final con una resistencia incluso superior a los conglomerantes utilizados hoy en día.

- El microconcreto: se trata de una mezcla de cemento portland y resinas líquidas, que mezclado de modo tradicional con arena, genera un material resistente pero de gran flexibilidad. Se lo puede utilizar de igual manera que el concreto común, pero se debe tener en cuenta que el espesor mínimo es de 2 mm. Se utiliza para fabricar tejas, que no requieren cocción como las tradicionales de arcilla.
- Lenzos de cemento; es un material creado por la firma inglesa Concrete Canvas y está fabricado con una fibra flexible que se impregna de cemento de alta resistencia. El lienzo viene en bolsas y, para su utilización, sólo hace falta desembalarlo, extenderlo y situarlo de modo que se necesite sobre una estructura. Posteriormente, es importante añadir agua. Mientras está fresco, el lienzo puede modelarse, permitiendo



diferentes tipos de diseño. Fragua en 2 o 3 horas y resulta en una estructura completamente rígida, impermeable e incombustible, en no más de 24 horas. Puede utilizarse en la construcción de viviendas económicas porque, a su maleabilidad, se le añade su bajo costo.

- El concreto translúcido mexicano; es un material fabricado con cemento blanco, agregados finos y gruesos, agua, y un aditivo llamado llum, que permite el paso de la luz. Es fabricado en varios colores y tiene una resistencia a la compresión superior al concreto normal.
- Cemento transparente; es uno de los materiales más innovadores y versátiles. Uno de ellos es el llamado LitraCon, creado en 2001. Hay varios tipos de materiales similares y distintos inventores que se atribuyen su autoría. A su vez, hay un cemento translúcido, creado en México en el año 2006, cuyos autores se asociaron con Aron Losonczi, creador del LitraCon. Este material es fabricado en base a un 96% cemento y un 4% de fibra óptica. Las fibras ópticas se disponen en el interior del cemento de modo tal de conformar una grilla, que favorece que la luz se refleje de forma pareja en toda la superficie. Incluir fibra óptica no afecta la resistencia del material, por lo que puede utilizarse en juros portantes.

- Cemento antisalitre; con moderada resistencia a sulfatos, moderado calor de hidratación y resistente al agua de mar.
- Los cementos hidráulicos mixtos se producen integrando o mezclando cemento Portland con materiales cementantes suplementarios tales como escoria molida y granulada de los altos hornos, cenizas volátiles, humos de silicato, arcilla calcinada, caliza hidrogenada y otras puzolanas. El uso de cementos mixtos en el concreto premezclado reduce la cantidad de agua de la mezcla y su tiempo de curación, mejorando la trabajabilidad y los acabados, inhibe el ataque de los sulfatos y la reacción de los agregados alcalinos, además de reducir el calor de la hidratación.
- CEMEX ofrece una gama de cementos mixtos con una menor huella de CO₂ resultado de su contenido más bajo de clinker debido a la adición de materiales cementantes suplementarios. El uso de cementos mixtos fortalece las prácticas sustentables y promueve el objetivo de ofrecer una gama creciente de cada vez más productos sustentables.¹⁰

- **Eficiencia en la gestión operativa**

Implementar un programa integral de eficiencia energética en la planta que comprenda la creación de un Comité de



¹⁰ <http://www.cemex.com/ES/ProductosServicios/TiposCemento.aspx#sthash.R9zP0Llu.dpuf>
<http://www.cemex.com/ES/ProductosServicios/TiposCemento.aspx#sthash.R9zP0Llu.dpuf>

Energía para que asuma la responsabilidad de la implementación del programa así como de su monitoreo.

Realizar un mantenimiento predictivo en los equipos relevantes de planta como herramienta importante del mantenimiento, a fin de anticiparse a potenciales fallas y/o salidas de servicio de equipos de planta.

Monitorear la operación con instrumentación portátil (detector infrarrojo, analizador de vibraciones, analizador infrarrojo, analizador ultrasónico, analizador de aceite, otros) a fin de evitar deterioro en los equipos y evitar paradas no deseadas así como fallas futuras. Realizar el monitoreo periódico de los parámetros relevantes energéticos y ambientales, para adoptar las medidas operativas requeridas según el tipo de procesos de planta.

Mejorar la eficiencia operativa con la incorporación de tecnologías limpias, incluyendo instrumentación de monitoreo y control automático centralizado (PLCs, entre otros) integrados a un sistema SCADA y en red (Ethernet, otros). Aprovechar la tecnología inalámbrica para la adquisición de datos on-line por parte de los operadores vía smartphones.

El transporte interno de materiales en la planta cementera debe considerar tecnologías para evitar emisiones de polvo a la atmósfera. Una manera de lograr ello es implementando el transporte neumático para el acarreo

de materiales. El determinar la velocidad óptima de transporte es considerado uno de los pasos más importantes en el correcto dimensionamiento y operación de sistemas de transporte neumático.

El control del polvo que resulta del transporte de los materiales es uno de los desafíos más críticos; las fajas transportadoras, pilas de acopio, y las pistas de la planta, pueden ser causas importantes de degradación de la calidad del aire, así como las emisiones de molinos y del horno. Se deben emplear recolectores mecánicos de polvo donde sea práctico, por ejemplo, en los trituradores, transportadores y el sistema de carga.

Una opción tecnológica para evitar emisiones fugitivas en las fajas transportadoras, en los elevadores de cangilones y molinos. Las fajas pueden ir encapsuladas y manteniendo una presión ligeramente negativa para evitar tales emisiones.

En la mayoría de los casos, el polvo recolectado puede ser reciclado, reduciendo el costo y disminuyendo la producción de desechos sólidos. Se pueden mantener limpios los camiones de la planta con aspiradoras y/o rociadores, a fin de eliminar el polvo atmosférico causado por el tráfico y el viento. Las pilas de acopio de materia prima a granel deben estar cubiertas tanto como sea posible. Los camiones que transportan materiales a la planta y fuera de ésta deben tener cubierta la carga, así como hacer respetar los límites de velocidad.







IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA



6 IMPORTANCIA DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA

6.1 Formación de un Comité de Gestión de la Energía (CGE)

La formación de un comité de gestión de la energía es de vital importancia porque contribuirá en la implementación de mejoras energéticas de forma ordenada y sostenible en el tiempo.

El comité de gestión de la energía apoyará la implementación de las mejoras energéticas que contribuyan al uso eficiente de la energía. El tamaño del comité depende de la complejidad de la organización.



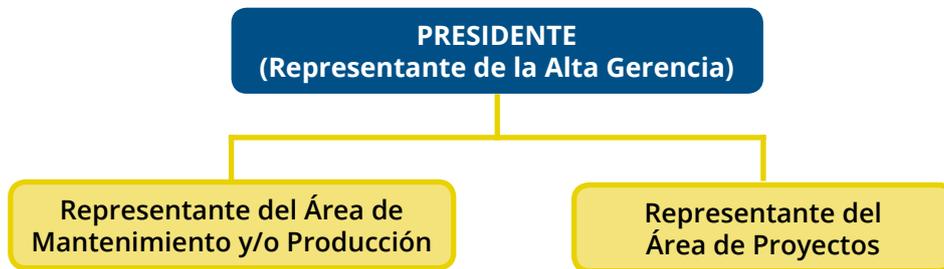
La creación de un comité interdisciplinario con un representante de cada área, resulta un mecanismo eficaz para comprometer a las diferentes áreas de la empresa en la planificación e implementación de las mejoras energéticas.

Es recomendable que los integrantes del comité cuenten con el perfil apropiado, con condiciones de liderazgo, con conocimientos específicos de energía y de los equipos y procesos de la empresa.

El comité deberá ser presidido por un miembro representante de la alta gerencia y con poder de decisión en la empresa.

En la Figura 9, se muestra a modo de ilustración el organigrama de un comité de uso eficiente en un Industria cementera, en el cual destaca la participación del representante de la alta gerencia (presidente del comité).

Figura 9.
Organigrama de un Comité de Gestión de la Energía



Fuente: Elaboración FONAM

- **Responsabilidades y Funciones del Comité**

- ✓ Analizar los consumos de energía en las distintas áreas.
- ✓ Identificar oportunidades para el ahorro de energía.
- ✓ Seleccionar los proyectos de energía a ser implementados en función a las mejoras energéticas prioritarias.
- ✓ Garantizar el seguimiento de las actividades de implementación de mejoras energéticas, identificando responsables y fechas de cumplimiento.
- ✓ Se deberán sostener reuniones periódicas que promuevan la participación de todo el personal de la empresa, y de este modo motivarlos a que propongan ideas orientadas al uso eficiente de la energía.

Las ideas propuestas por el personal deberán ser analizadas y evaluadas por los representantes de las diferentes áreas a fin de presentarlas en forma concisa al presidente del comité para su respectiva evaluación y decisión.

Los jefes de cada área, directivos y la alta gerencia deben comprometerse totalmente en contribuir al éxito del CGE, motivando a que los empleados entreguen sus mejores esfuerzos.

En el caso, que la empresa sea una pequeña o micro empresa, mínimamente se deberá contar con un gestor energético, que será el personal a cargo de la supervisión e implementación de mejoras energéticas contempladas en los proyectos de ahorro de energía, y deberá cumplir con las funciones y responsabilidades del comité.



6.2 Sistema de Gestión de la Energía (SGE) y la importancia de contar con la Certificación ISO 50001

El SGE de acuerdo a su definición según la norma internacional ISO 5001, es **“El Conjunto de elementos interrelacionados mutuamente o que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, y los procesos y procedimientos necesarios para alcanzar dichos objetivos”**

De lo anterior se puede afirmar que un SGE sirve para gestionar la energía de forma sistemática y eficiente, garantizando una mejora continua.

Es una herramienta de gestión voluntaria, en la cual una organización introduce, de forma sistemática, la variable “energía” en todas las actividades y operaciones de su proceso productivo, con el objetivo de mejorar continuamente su desempeño energético.

Igual que en los demás sistemas, la norma se basa en el ciclo de mejora continua **“Planificar-Hacer-Verificar-Actuar” (PHVA)** e incorpora la gestión de la energía a las prácticas habituales de la organización tal como se ilustra en la Figura 12.

Figura 10:
Modelo de Gestión de la Energía ISO 50001



Elaboración FONAM, Fuente: Norma Internacional ISO 50001:2011



A continuación se presentan los aspectos generales de las Fases a implementar en un SGE enmarcado al ciclo de mejoramiento continuo PHVA:

FASE I: Planificar - ¿Qué hacer? ¿Cómo hacerlo?

Se basa en entender el comportamiento energético de la organización para establecer controles y objetivos que permitan mejorar el desempeño energético. En esta Fase se debe considerar realizar lo siguiente:

a) La Política Energética

La empresa u organización deberá contar con una sólida política energética que servirá de apoyo hacia la implementación de un SGE. El comité de gestión de la energía tendrá a cargo la elaboración

de la política energética y deberá ser aprobada por la alta gerencia, mediante un documento firmado que incluya las principales líneas de actuación en materia de gestión de la energía

La política energética deberá ser una declaración breve y concisa para el fácil entendimiento de los miembros de la organización y pueda ser aplicada en sus actividades laborales, tiene que ser apropiada a la naturaleza y a la magnitud del uso y consumo de la energía de la empresa, incluyendo un compromiso de mejora continua en el desempeño energético.

La política energética es un documento imprescindible a la hora de implementar un SGE, ya que se trata del impulsor de la implementación y la mejora del mismo, así como del desempeño energético de la organización.

La Política Energética deberá desarrollarse conjuntamente a las metas estratégicas de la organización y de acuerdo con otras políticas (calidad, ambiente, etc.).

b) Auditoría energética (Diagnóstico Energético)

La auditoría energética o llamada también Diagnóstico Energético, desarrollado en el ítem 4.2., realiza un balance total de la energía ingresada, analiza e identifica los usos y consumos significativos de la energía y propone oportunidades de mejora de ahorro energético y la administración óptima de la energía.

Determina la situación actual “línea de base energética” en función a indicadores de desempeño energético (IDEs), para el planteamiento de objetivos, metas y planes de acción.

c) Objetivos, Metas y Planes de Acción

La organización deberá establecer objetivos, metas y planes de acción, en función a los resultados del diagnóstico energético, con la finalidad de mejorar su desempeño energético. Los objetivos y metas deberán ser documentados y, contar con el detalle necesario para asegurar que sean cumplidos en tiempos definidos.

Asimismo, los objetivos y metas planteados por la organización deberán ser coherentes y consistentes con lo planteado en la política energética.

La organización deberá implementar planes de acción que permitan dar seguimiento y monitoreo a los objetivos y metas.

En los planes de acción se deberá considerar la identificación del personal y sus responsabilidades indicando sus tareas específicas y el área a la cual pertenece, los plazos previstos para el logro de metas y el método de verificación de resultados.

FASE II: Hacer – Hacer lo planificado

Se basa en implementar proyectos de energía en función a los objetivos y metas planteadas en los planes de acción, con el fin de controlar y mejorar el desempeño energético.

a) Controles Operacionales:

La organización deberá definir criterios bajo los cuales operará en el marco del SGE, buscando siempre el mejoramiento continuo del desempeño energético.

Se deberá identificar aquellas operaciones relacionadas con el uso significativo de la energía y para cada una de ellas se desarrollará instructivos de trabajo en los que se especifiquen principalmente los criterios de operación (modos y horarios de funcionamiento de los principales equipos consumidores de energía), criterios de mantenimiento (periodicidad con la que se realizaran las tareas de mantenimiento de los principales equipos consumidores de energía) y parámetros de control.

b) Sensibilización y capacitación

Todos los miembros de la organización deben ser conscientes de la importancia de reducir los derroches de energía, y conseguir ahorros de energía, beneficios económicos, y por ende también beneficios ambientales.



Se deberá considerar capacitar y sensibilizar a los miembros del comité del sistema de gestión de la energía, directivos de cada área y otros que estén involucrados, sobre la aplicación y la importancia de las prácticas de ahorro de energía en el desarrollo de los trabajos que vienen realizando.

c) Implementación de proyectos sobre mejoras energéticas

Los proyectos de energía a ser implementados deben ser coherentes con la política energética de la organización, en caso de contar con varios proyectos se debe considerar un orden de prioridad principalmente en función a los recursos necesarios para su implementación.

Se podría iniciar con proyectos que rindan ahorros modestos pero de fácil implementación, sobre todo en aquellos proyectos donde se pueda implementar medidas sencillas, de pérdidas de energía detectada en un diagnóstico energético. Los ahorros logrados motivarán a que el comité de gestión de la energía busque mayores ahorros en otras áreas.

FASE III: Verificar - ¿Las cosas pasaron según lo que se planificaron?

Se basa en realizar el monitoreo de procesos y productos así como la medición de los mismos, en base a la política energética, objetivos, metas y características de las operaciones, para finalmente reportar los resultados obtenidos.

a) Monitoreo, medición y análisis

Implementar controles y sistemas de reporte que permitan a la organización

realizar un seguimiento de su desempeño energético.

Para comprobar que una determinada actividad se está llevando a cabo correctamente es necesario realizar las medidas y el seguimiento oportuno.

Es importante que la organización desarrolle los medios y herramientas necesarias para monitorear, medir y analizar su desempeño energético a través de aquellas operaciones y variables relacionadas con los usos significativos de la energía.

Por ejemplo, se debe monitorear, medir y analizar principalmente los Consumos de combustibles, Eficiencia de quemadores, Horas de operación de los equipos, Mantenimientos, Tasas de consumo de combustibles, Pérdidas de energía y la Efectividad de planes de acción.

Con ello, el comité de gestión de la energía puede recoger mucha información que le ayudará a evaluar el progreso de su programa y planear futuros proyectos. Con los datos registrados se puede determinar si el progreso se está logrando, comparar los resultados de la implementación de una medida de ahorro de energía versus los consumos de la línea base.

Se deberá informar sobre las mejoras implementadas, a través de los informes a las jefaturas correspondientes. Trazar las metas futuras y monitorear el progreso hacia las nuevas metas.

b) Comunique los resultados y Celebre el éxito

Este paso es sumamente importante y necesita ser bien ejecutado de modo que se perciba que todos son parte



del esfuerzo. Los informes regulares tomados de los datos monitoreados, motiva al personal, demuestra que están progresando hacia sus objetivos.

Se deberá presentar los resultados de forma gráfica, usando tablas, diagramas de cumplimiento, que sean publicados dónde el personal pueda visualizarlos.

El éxito de la implementación de las oportunidades de mejora en eficiencia energética deberá ser evaluada comparando el consumo de energía de la línea base antes de la implementación versus el consumo de energía (estimado) posterior a la implementación de las mejoras energéticas.

Asimismo se debe reconocer los logros y la contribución destacada del equipo. La celebración del éxito de una meta se debe celebrar como un hito en el rumbo de la mejora incesante de la eficiencia energética en la planta.

c) Auditoría Interna

El objetivo de implementar procedimientos de auditorías internas, no conformidades, acciones correctivas y acciones preventivas, es establecer los controles sistemáticos que aseguren que los SGE funcionan de acuerdo a lo planeado y definido por las empresas, cumpliendo los requerimientos de la ISO 50001.

La empresa debe definir un procedimiento que asegure la correcta conformación del equipo de auditores internos, y la organización de la auditoría, así como la corrección de no conformidades. En una auditoría interna, si en la organización se han implementado otros sistemas

de gestión basados en normas ISO, los procedimientos ya existentes deberían cumplir con la totalidad de los requerimientos del estándar ISO 50001.

d) No conformidades, corrección, acción correctiva y acción preventiva

Las desviaciones del comportamiento previsto por la propia organización deben ser identificadas y tratadas, éstas se pueden detectar a través de:

- Evidencias relacionadas con el desempeño energético de la organización.
- En procesos rutinarios de evaluación del SGE como, por ejemplo, la revisión por la gerencia.
- Detección de problemas reales o potenciales por parte del personal.

Las desviaciones identificadas deberán ser transmitidas a quien corresponda en cada caso, quien decidirá si se trata de una no conformidad y cuáles serán las medidas aplicables, considerando que una No conformidad es el incumplimiento de un requisito.

Una vez identificado el hallazgo se deberán tomar las medidas pertinentes para corregirlas, iniciándose el programa de acciones correctivas y preventivas.

Para ello, se deberá realizar un análisis de sus causas. En función de la naturaleza del hallazgo detectado, deberán tomarse unas medidas, acciones correctivas para eliminar la causa de una no conformidad detectada, acciones preventivas para eliminar la causa de una no conformidad potencial.



FASE IV: Actuar - ¿Cómo mejorar la próxima vez?

Se basa en la toma de acciones para mejorar continuamente el desempeño energético en base a los resultados.

a) Revisión por la Alta Dirección

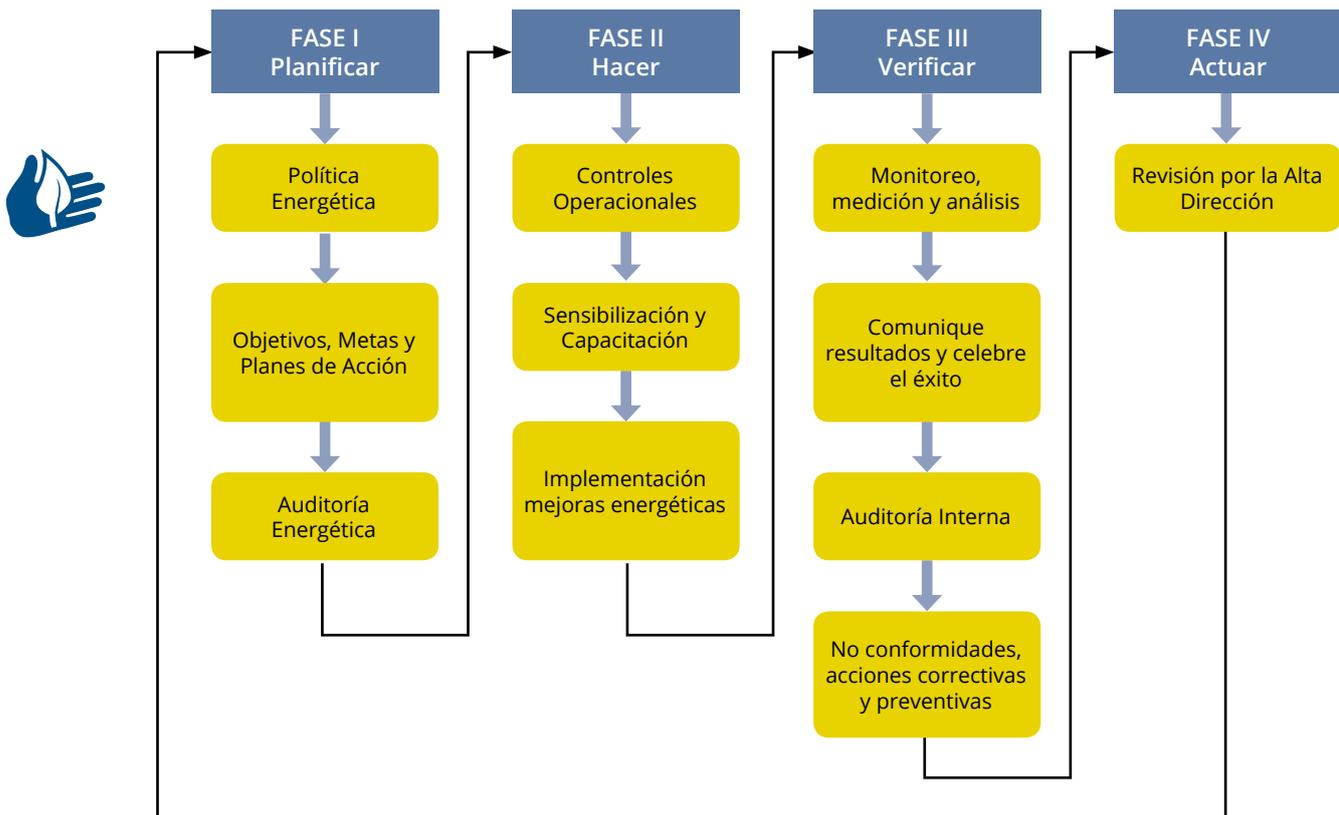
La alta gerencia debe realizar una revisión periódica de la política de energía, objetivos, metas y planes de acción, con el fin de asegurar que el SGE es adecuado a la organización y efectivo en su ejecución.

Se sugiere que la alta gerencia realice la revisión al menos una vez al año, de manera que pueda contar con resultados del desempeño energético, objetivos, metas y auditorías.

Se deberá definir un tipo de registro o reporte de las conclusiones que tome la alta gerencia frente a su revisión.

La revisión por la dirección consiste en analizar los resultados del sistema de gestión y en la toma de decisiones para actuar y promover la mejora continua.

Figura 11
Aspectos Generales del ciclo de Deming aplicado al SGE



Elaboración FONAM, Fuente: Guía Chilena ISO 50001

- **Importancia de contar con la Certificación ISO 50001**

La norma ISO 50001 busca apoyar a las organizaciones en estructurar e implementar un sistema integral de gestión energética de forma sistemática, integral, sustentable y orientada a objetivos, mejorando continuamente el rendimiento energético mediante un monitoreo continuo de los flujos de energía. Esta norma además de contribuir con el cumplimiento de requisitos legales, genera reducción de los costos de energía y por ende obtención de ahorros económicos, asimismo contribuye con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

De otro lado brinda ventajas competitivas a las empresas por contar con procesos eficaces, personal concientizado en el uso eficiente de la energía e imagen empresarial, mostrándose como una empresa comprometida con el ambiente que desarrolla sus procesos productivos con responsabilidad energética-ambiental. Cabe resaltar que aquellas empresas que cuenten con una auditoría energética (diagnóstico energético) desarrollado en sus instalaciones, tienen una primera

herramienta que les servirá para poder implementar el sistema de gestión de la energía en la empresa y aplicar a la certificación de la ISO 50001.

- **Ventajas de contar con un SGE:**

- Facilita la adopción de un enfoque sistemático para la mejora continua de la eficiencia energética.
- Facilita el cumplimiento de la legislación vigente.
- Reducción de costos de la energía y por ende mejora de la competitividad de la empresa.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en beneficio de la lucha contra el cambio climático.
- Es compatible con otros sistemas de gestión: calidad ISO 9001, ambiental ISO 14001, de la seguridad y salud en el trabajo OHSAS 18001. La estructura común facilita su uso y la integración del SGE en los demás sistemas de gestión.
- Mejora la credibilidad e imagen de la empresa en medios.
- Reduce la amenaza de los competidores sobre la "imagen".



6.3 El etiquetado como garantía de compra eficiente

Actualmente el Ministerio de Energía y Minas viene desarrollando el Proyecto de "Normas y Etiquetado e Eficiencia Energética en Perú" - PNUD 00077443, cuyo objetivo principal es contribuir a la comercialización de equipos y artefactos de consumo eficiente de la energía. Asimismo proteger al consumidor y reducir el impacto ambiental.

La etiqueta energética de los equipos y artefactos es una herramienta informativa que permite saber de forma rápida y sencilla la eficiencia energética con la que operan, es decir mide la capacidad de realizar su función con un consumo de energía menor.

El consumidor será uno de los actores más beneficiados, cuando realice la compra de un equipo o artefacto que cuente con el etiquetado de eficiencia energética, su compra se verá garantizada por la eficiencia registrada en el etiquetado y tendrá opción de elegir los artefactos más eficientes.

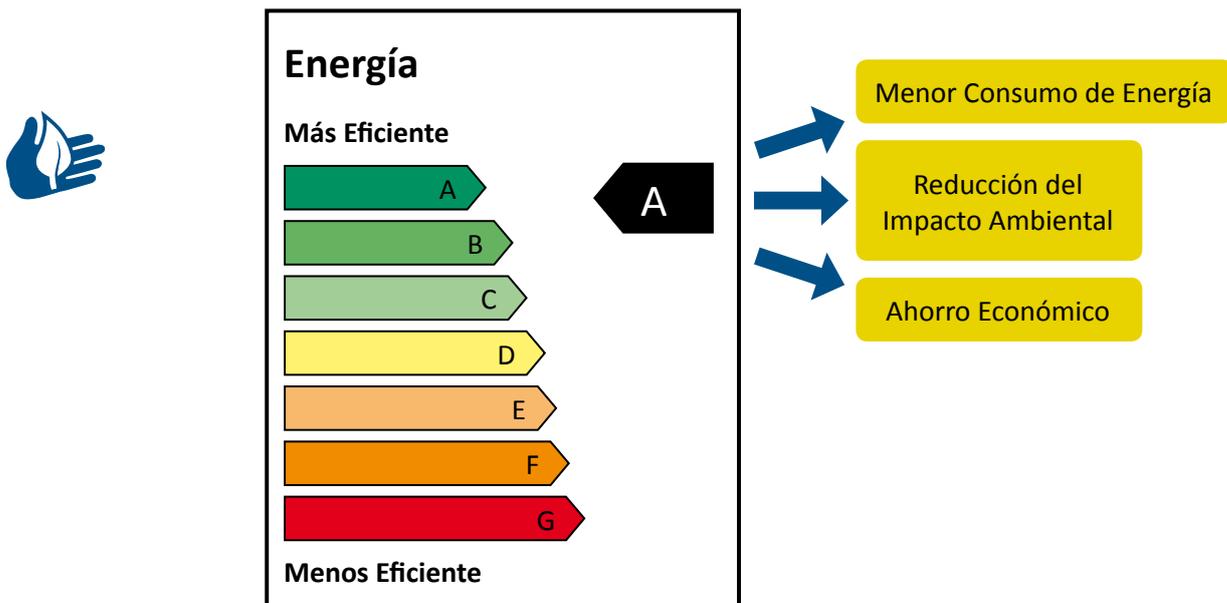
Con la vigencia de la norma de etiquetado de eficiencia energética, los equipos y artefactos que estarán obligados a llevar una etiqueta que precise su eficiencia energética son: lámparas, refrigeradoras, lavadoras, secadoras, calentadores

de agua, aire acondicionado, motores eléctricos y calderas industriales.

El etiquetado se basa en una escala de clasificación por letras y colores, que va desde la A y el color verde, para los equipos más eficientes, a la G y el color rojo, para los equipos menos eficientes.

A pesar que los aparatos más eficientes son los más caros en el momento de la compra, sus costos se amortizan generalmente antes de la finalización de su vida útil por lo que el ahorro es mucho mayor.

Figura 12.
Etiqueta de Eficiencia Energética y sus beneficios



Elaboración FONAM, Fuente: MINEM



CASOS EXITOSOS





CASOS EXITOSOS

7.1 Caso 1

La empresa de cementos ubicada en la Provincia de Cartagena, Colombia. Es una industria que fabrica cemento Portland para lo cual tiene implementado los procesos de trituración y molienda del crudo, homogenización, precalcinado, clinkerización y molienda del cemento. Produce anualmente aproximadamente 500 mil toneladas de clinker y 700 mil toneladas de cemento.

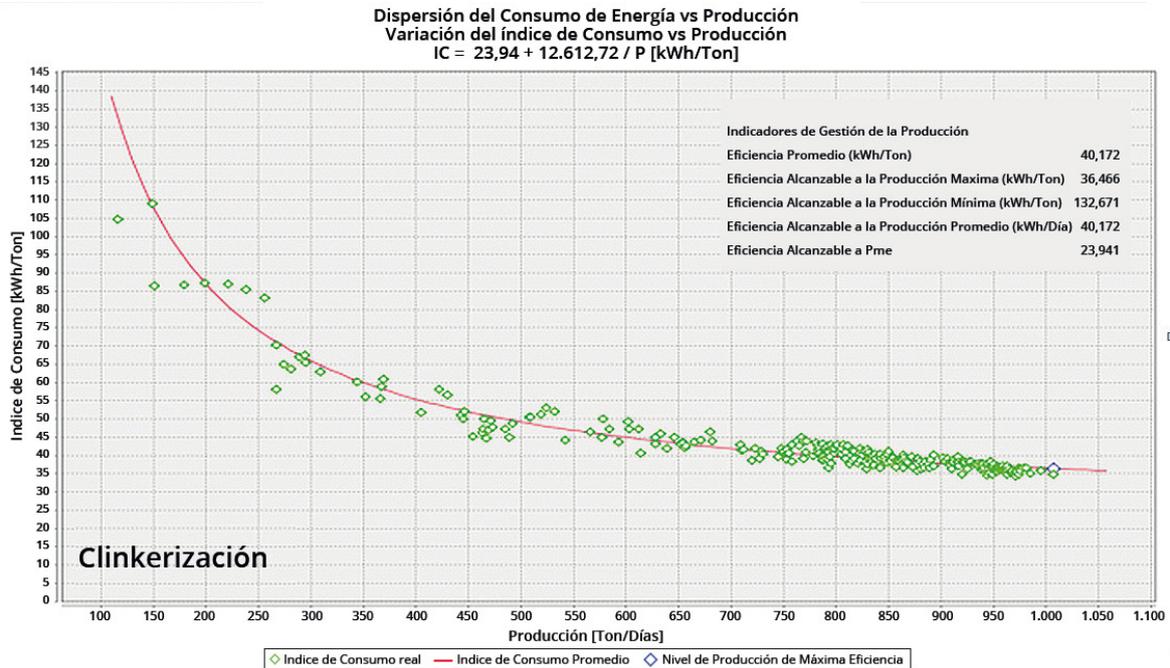


Tiene implementado un Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE), con el objetivo general de generar una cultura energética en la empresa y con los objetivos específicos de hacer un uso eficiente de la energía, mejorar los procesos, mejorar la

productividad y competitividad de la empresa, contribuir a reducir los costos operativos y disminuir el impacto ambiental de los gases de efecto invernadero (GEI).

En la Figura 13 se presenta un gráfico de consumos específicos de energía eléctrica (índice de consumo) en kWh/Ton versus la producción en Ton/día en el horno de clinkerización. Se aprecia la tendencia de reducción del consumo específico de energía eléctrica al operar el horno a mayores capacidades, llegando a un valor de 36,47 kWh/ Ton al operar a su capacidad máxima. Asimismo el gráfico muestra los indicadores de gestión de la producción.

Figura 13.
Consumos específicos de energía eléctrica (índice de consumo) en kWh/Ton versus la producción en Ton/día en el horno de clinkerización.

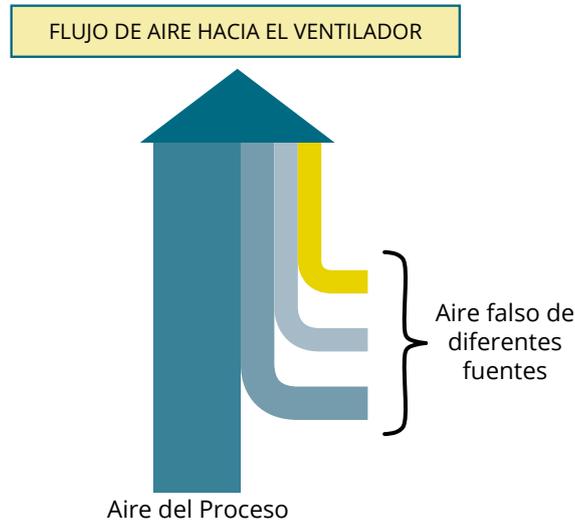


La clinkerización es el proceso de mayor consumo de energía en una planta cementera y las acciones de eficiencia energética que se implementen en este equipo reducirán dramáticamente la demanda de energéticos y los costos operativos. Dentro de este alcance la empresa desarrolló el proyecto Mejoras en la Eficiencia Energética por Reducción del Aire Falso en el horno de clinkerización.¹¹

Para ello se identificaron los flujos de aire falso que se infiltraban en el horno de clinkerización y que se presentaban como adicionales al flujo de aire de procesos. Los flujos falsos eran el flujo vía sellos de aquellos que no estaban apretados, los flujos de aire a causa de orificios y compuertas abiertas, el aire de desempolvado hacia filtros del proceso. En la Figura 14 se muestra un Diagrama de Sankey del flujo de aire que succiona el ventilador del horno.

¹¹ <https://www.google.com.pe/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=presentacion+de+cemento+s+argos+planta+toluviejo>

Figura 14.
Diagrama de Sankey del flujo de aire al horno

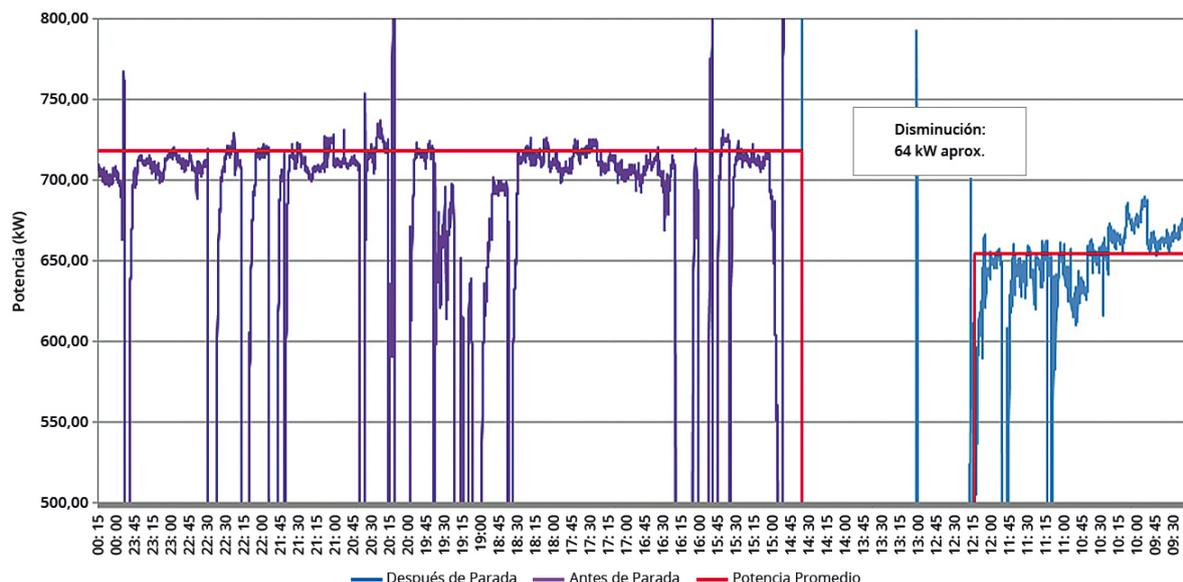


La solución que se planteó fue la implementación de un variador de velocidad (VFD) para operar el ventilador en un lazo de control automático para permitir regular el flujo que el ventilador succiona, manteniendo un mínimo de presión positiva en el horno y así evitar infiltraciones. El lazo de control considera un sensor de la presión

interna del horno, un controlador de presión para mantener un punto de consigna (set point) de la presión positiva y el actuador final que es el variador de velocidad del ventilador.

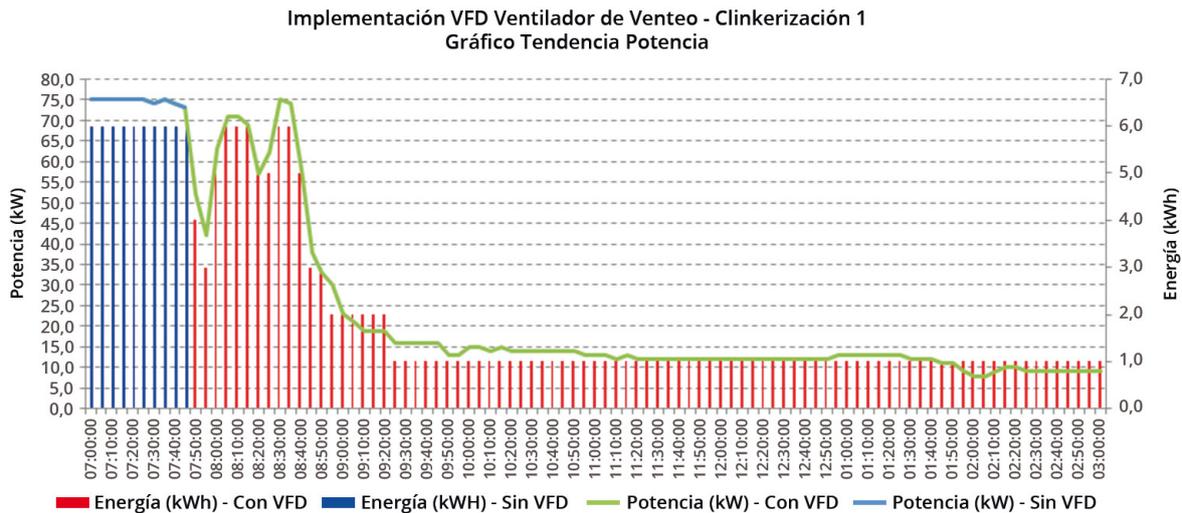
La potencia promedio demandada se redujo en 64 kW luego de la implementación. Ver Figura 15.

Figura 15.
Reducción de la potencia eléctrica demandada al implementar el variador de velocidad



En la Figura 16 se muestra un gráfico comparativo para un día típico de operación del horno, con las potencias (kW) y los consumos de energía eléctrica (kWh) en dos escenarios, con y sin la implementación del variador de velocidad (VFD).

Figura 16.
Potencias y consumos de energía eléctrica con y sin la Implementación del variador de velocidad



Cuantificación de las mejoras realizadas:

1. Reducción de la potencia demandada en 64 kW
2. Disminución del consumo de energía en 546 000 kWh/año en promedio.
3. Ahorros logrados:

El ahorro en % de energía:

La menor potencia demandada de 64 kW respecto a la potencia del ventilador 1200 kW, representa un ahorro de: $(64/1200) \times 100 = 5,3 \%$

Aplicando los costos de la Tarifa MT3 vigentes en el país para cuantificar los ahorros:

En potencia	: 64 kW x 50 Soles/kW-mes x 12 meses/año	= 38 400 Soles/año
En energía	: 546 000 kWh/año x 0,19 Soles/kWh	= 103 740 Soles/año
Total ahorros:		142 140 Soles/año



Inversión:

Variador de velocidad para motor de ventilador de 1120 kW¹²
 Precio: 765 000 Soles (225 000 US\$)
 Incluye instalación y controles

Periodo de Recuperación de la Inversión:

5,4 años

Tabla. 10:
Ahorros logrados por la implementación de mejoras energéticas

Sistema	Mejora Implementada	Ahorros	Inversión		Retorno de la Inversión
		S/año	Concepto	S/	años
Horno de Clinkerización	Reducción de la potencia eléctrica demandada y consumos de energía al implementar el variador de velocidad	142, 140	Adquisición de un Variador de velocidad para motor de ventilador de 1120 kW	765,000	5.4

Elaboración FONAM

Fuente: https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiRy9mXtenLAhXINSYKHetzCbYQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ficem.org%2Fboletines%2Fct-2013%2Fpresentaciones2013%2F8_GETTING%2F1_BLADIMIR-ASIDT%2FPonencia-Sistema-de-Gestion-Integral-de-la-Energia-Cementos-Argos-Planta-Toluviejo-FICEM-2013.ppt&usg=AFQjCNEUqu9HJlFhoINLGFZFibnxczLJw&sig2=OoNdIWbNjUch74NXsjPzbA

CASO 2 y CASO 3

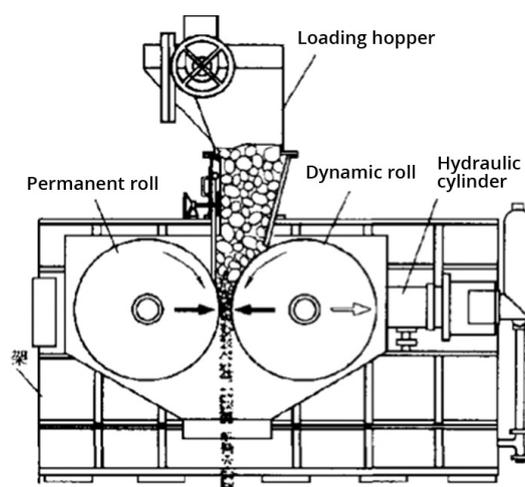
Empresa peruana que fabrica cemento con procesos de trituración y molienda del crudo, homogenización, precalcinado, clinkerización y molienda del cemento. La capacidad de producción de clinker es de 4,8 millones de toneladas anuales y la producción anual de cemento es 5,5 millones de toneladas de cemento manteniendo plena cobertura de la demanda local de cemento.

¹² Referencia: http://www.schneider-electric.com/solutions/id/en/med/134177657/application/pdf/1975_mastering-fan-system-efficiency_schneider-new.pdf

7.2 Caso 2:

Implementación de nuevas prensas de rodillo para molienda de crudo y cemento. Esta inversión de 59.5 millones de Soles ha permitido incrementar la capacidad de producción de clínker en la planta Atocongo a 4,8 millones de toneladas anuales y la capacidad de molienda de cemento a 5,5 millones de toneladas anuales.

Figura 17.
Prensa de rodillo



UNION ANDINA DE CEMENTOS S.A.A.
Documento de Información Anual 2013

UNACEM
CONSTRUYENDO OPORTUNIDADES



Planta Atocongo

Proceso	Maquina Principal	Marca
Trituración Primaria	Chancadora	ESCH
Trituración Secundaria	Chancadoras	Hischman y Pensylvania
Molienda de Crudo	Prensas de Rodillos	Krupp Polysius
Clinkerización	Horno 1 y Horno 2	Krupp Polysius y F. L. SMITH
Molienda de Cemento	Prensa de Rodillos	Krupp Polysius
Despacho	Envasadoras	Haver & Boecker

Con esta implementación se ha reducido el consumo específico de energía eléctrica de 30,8 a 23,2 kWh/tonelada de crudo.

Cuantificación de las mejoras realizadas:

Aplicando el Factor Crudo-Clinker (CCK) = 1,55¹³; se tiene que la cantidad de crudo requerida para obtener 4,8 millones toneladas anuales de clínker es 7,44 millones toneladas anuales de crudo.

¹³ Referencia: <http://www.combustionindustrial.com/wp-content/uploads/2015/05/C3%A0lculo-de-la-producci%C3%B2n-real-de-Cl%C3%A0nker-en-el-Horno.pdf>

1. Ahorros en energía:

Aplicando los costos de la Tarifa MT3¹⁴ vigente en el país para cuantificar los ahorros:

$$(30,8 - 23,2) \text{ kWh/tonelada de crudo} \times 7,44 \text{ millones toneladas de crudo/año} = 56,54 \text{ millones kWh/año}$$

El ahorro en energía eléctrica ha sido:

$$((30,8-23,2)/30,8) \times 100 = 24,7\%$$

2. Ahorros en costos:

56,54 millones kWh/año x 0,16 Soles/kWh = 9,05 millones Soles/año

Total ahorros: 9,05 millones Soles/año

3. Inversión

2,9 US\$ FOB/prensa-tonelada de cemento x 5,5 millones toneladas de cemento = 15,95 millones US\$. Más 10 % por inversiones complementarias e instalación

Total inversión: 17,5 millones US\$; a tasa de cambio 3,4 Soles/US\$ = 59,5 millones Soles. Incluye costos complementarios e instalación.

4. Periodo de Recuperación de la Inversión

6,6 años

Fuente: UNACEM

Referencias de inversión:

<http://ietd.iipnetwork.org/content/high-pressure-roller-press>



High-Pressure Roller Press Costs & Benefits	
Parent Process: Finish Grinding	
Energy Savings Potential	<p>Power consumption can be reduced by 10 - 24 kWh/t-cement. Savings in the range of 7 - 15 kWh/t cement are reported from India.</p> <p>■ Energy consumption of a single-set high-pressure roller mill with 200 t/h capacity is reported to be less than 30 kWh/t-cement (NDRC, 2008. p. 48).</p> <p>■ In China, a 5000t/d cement grinding plant reduced electricity consumption by more than 30% (approximately 8~ 10kWh/t cement) by using high-pressure roller mills, instead of ball mills (NDRC, 2008. p. 48)</p> <p>■ In another plant with 2500t/d cement grinding capacity, switching over to high-pressure roller mills has reduced electricity consumption by more than 30% (approximately 8~ 10kWh/t cement) (NDRC, 2008. p. 48.)</p>
CO2 Emission Reduction Potential	<p>In the Chinese context, CO₂ emissions can be reduced by 7.9 to 19 kg/t-cement with the use of this technology.</p> <p>In the Indian context, CO₂ emissions can be reduced by 8.1 to 19.4 kg/t-cement with the use of this technology.</p>
Costs	<p>Investment costs are estimated to be between US \$2.5 - 8 /annual ton cement capacity, For India investments are reported to range between US \$10-15 million, or US \$40-65 per ton of hourly capacity.</p> <p>■ For China investments are reported to range between 12~20 million RMB, and payback period may be between 3 and 4 years (NDRC, 2008. pp.48-49).</p>

¹⁴ Nota: Las empresas cementeras son clientes libres y tienen una tarifa negociada preferencial. Sin embargo para cálculos se ha considerado la Tarifa MT3.

Tabla. 11:
Ahorros logrados por la implementación de mejoras energéticas

Sistema	Mejora Implementada	Ahorros	Inversión		Retorno de la Inversión
		S/año	Concepto	S/	años
Clinkerización	Implementación de nuevas prensas de rodillo para molienda de crudo y cemento	9,05 millones	Adquisición de prensas de rodillo	59,5 millones	6.6

Elaboración FONAM

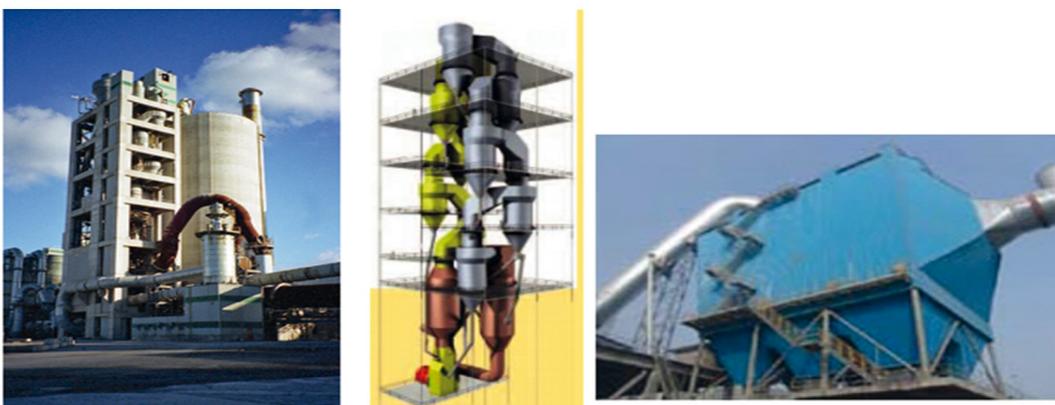
7.3 Caso 3:

El proyecto de modernización y ampliación de la capacidad de producción del horno 1, implicó la construcción de un nuevo intercambiador de calor de 6 etapas y la construcción de un nuevo enfriador de clínker tipo Cross Bar y electrofiltro. Con la entrada en operación de este horno, se han logrado reducir sustancialmente los consumos de energía calorífica y eléctrica, consiguiendo un consumo calorífico promedio en el orden de 731 kcal/kg en la línea de producción de

clínker y un consumo eléctrico promedio de 28,6 kWh/tonelada de clínker producida, sumado a una reducción del consumo mensual de agua de 12,000 m³ aproximadamente. Se ha reducido el consumo de combustibles en la planta Atocongo pasando de 801 kcal/kg de clínker a 771 kcal/kg; similares ahorros se obtuvieron en el consumo de energía eléctrica, donde se pasó de 38.8 kWh/tonelada de clínker a 30.7 kWh/tonelada de clínker producida en 2013.



Figura 18.
Modernización de procesos



Cuantificación de las mejoras realizadas:

1. Ahorro en energía

1.1 Ahorros en energía eléctrica:

Aplicando los costos de la Tarifa MT3¹⁵ vigente en el país para cuantificar los ahorros:

$(38,8 - 30,7)$ kWh/tonelada de clinker x 4,8 millones toneladas de clinker/año =
38,88 millones kWh/año

El ahorro en energía eléctrica ha sido:
 $((38,8-30,7)/ 38,8) \times 100 = 20,87\%$

1.2 Ahorros en energía térmica

$(801- 771) \times 10^3$ kcal/tonelada de clinker x 4,8 millones toneladas de clinker/año =
144 mil millones kcal/año =
 144×10^9 kcal/año

144×10^9 kcal/año x 0,004184 MJ/kcal =
 $60,25 \times 10^6$ MJ/año = 60,25 TJ/año

El ahorro en energía térmica ha sido:
 $((801-771)/801) \times 100 = 3,74\%$

2. Ahorros en costos:

2.1 Ahorro en costos de energía eléctrica

38,88 millones kWh/año x 0,16 Soles/kWh = 6,22 millones Soles/año

Total ahorro económico en energía eléctrica: 6,22 millones Soles/año ... (1)

2.2 Ahorro en costos de energía térmica

En operación normal la planta consume dos tipos de combustible: gas natural y carbón pulverizado, en una proporción 40% de gas natural y 60% de carbón. En los arranques petróleo utiliza residual N° 6. Luego:

Energía térmica ahorrada en gas natural

$60,25$ TJ/año x 0,40= 24,10 TJ/año

Poder calorífico del gas natural = 40 MJ/Sm³

Determinación de los Sm³ ahorrados:
 $(24,10 \times 10^6 \text{ MJ/año}) / (40 \text{ MJ/ Sm}^3) =$
 $0,60 \times 10^6 \text{ Sm}^3/\text{año}$

Ahorro en costos de energía en gas natural

A través del pliego tarifario de gas natural se determina el costo ahorrado en la facturación de gas natural. Aplicando la Tarifa E correspondiente a clientes con rango de consumo mayor a 900 mil Sm³/mes, y cuyos rubros de pago en la facturación se muestran a continuación:

a. Margen de comercialización:

$(0,1019 \text{ Soles/ Sm}^3/\text{día})\text{-mes} \times (0,60 \times 10^6) /30) \text{ Sm}^3/\text{día} \times 12 \text{ meses/año} =$
24 456 Soles/año

b. Margen de Distribución:

$(1,5518 \text{ Soles/ Sm}^3/\text{día})\text{-mes} \times (0,60 \times 10^6) /30) \text{ Sm}^3/\text{día} \times 12 \text{ meses/año} =$
372 432 Soles/año

c. Margen Variable de Distribución:

$(54,3689 \text{ Soles/por cada mil Sm}^3) \times 0,60 \times 10^3 \text{ mil Sm}^3/\text{año} = 32 621 \text{ Soles/año}$

¹⁵ Nota : Las empresas cementeras son clientes libres y tienen una tarifa negociada preferencial. Sin embargo para cálculos se ha considerado la Tarifa MT3.

d. Precio del gas en boca de pozo:

$$(2,8401 \times 3,4 \text{ Soles/GJ}) \times 24,1 \times 10^3 \text{ GJ/año} = 232\,718 \text{ Soles/año}$$

e. Tarifa de Transporte de Gas Natural vía Red Principal:

$$(37,6692 \times 3,4 \text{ Soles/por cada mil Sm}^3) \times 0,60 \times 10^3 \text{ mil Sm}^3/\text{año} = 76\,845$$
Total ahorro en gas natural: 739 072 Soles/año... (2)

CATEGORÍA E Rango de Consumo: Mayor a 900,000 sm ³ /mes	TARIFAS ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN			
	Margen de Comercialización:	Margen de Comercialización (MFC):	S/ 7 (sm ³ /día) - mes	0,1019
	Margen fijo de Distribución:	Margen fijo de Distribución (MFD):	S/ 7 (sm ³ /día) - mes	1,5518
	Margen Variable de Distribución (MVD):	S/ / 1000 sm ³	54,3689	
GAS Y TRANSPORTE				
Precio del gas		S/ /GJ	2,8401 XTCPPG (3)	
Tarifa de Transporte de Gas Natural via la Red Principal (2)		S/ / 1000 sm ³	37,6692 X TCRP (4)	

Energía térmica ahorrada en carbón

$$60,25 \text{ TJ/año} \times 0,60 = 36,15 \text{ TJ/año}$$

Poder calorífico del carbón bituminoso =
34,59 MJ/kg

Determinación del carbón ahorrado

$$(36,15 \times 10^6 \text{ MJ/año}) / (34,59 \text{ MJ/kg}) =$$

$$1\,045\,100 \times 10^6 \text{ kg/año} = 1045,1 \text{ toneladas}$$

de carbón bituminoso/año

Ahorro en costos de energía en carbón bituminoso

$$1045,1 \text{ toneladas de carbón bituminoso/año} \times 200 \text{ US\$/tonelada} = 209\,020 \text{ US\$/año}$$

Luego:

$$209\,020 \text{ US\$/año} \times 3,4 \text{ Soles/US\$} =$$

$$710\,668 \text{ Soles/año}$$

**Total ahorro en carbón bituminoso:
710 668 Soles/año... (3)**

Total ahorro económico en energía térmica: gas natural y carbón (2) + (3):

$$739\,072 \text{ Soles/año} + 710\,668 \text{ Soles/año} =$$

$$1\,449\,740 \text{ Soles/año. (4)}$$
Ahorros totales en energía eléctrica y térmica (1) + (4):

$$6,22 \text{ millones Soles/año} + 1\,449\,740 \text{ Soles/año} =$$

$$7,67 \text{ millones Soles/año ... (5)}$$
Ahorros en costos de agua:

$$(12\,000 \text{ m}^3 / \text{mes} \times 12 \text{ meses/año} \times$$

$$(5,21 + 2,35) \text{ Soles/ m}^3) + 4,89$$

$$= 1\,088\,645 \text{ Soles/año ... (6)}$$
**Ahorros en costos ambientales:
6 500 000 Soles/año ... (7)**

Complementariamente:

Reducción de GEI por energía térmica:

a) **Por reducción en quema de gas natural:**

Factor de Emisión: 15,3 tC/TJ
(Ref.: IPCC)

b) **Por reducción en quema de carbón :**

Factor de Emisión: 25,8 tC/TJ
(Ref.: IPCC)

Ahorros en mantenimiento:

$$2\,220\,000 \text{ Soles/año ... (8)}$$


Beneficios por incremento en la productividad:

Con las inversiones realizadas se incrementó la productividad en 40 %, lo que representa un beneficio económico de **30 millones Soles/año ... (9)**

Ahorros totales: (5) + (6) + (7) + (8) + (9)

47 478 6145 Soles/año

3. Inversión

275 millones US\$; a tasa de cambio 3,4 Soles/US\$ = 935 millones Soles. Incluye costos complementarios e instalación.

4. Periodo de Recuperación de la Inversión

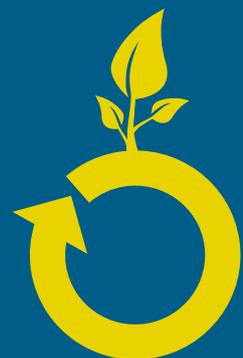
19,7 años

Fuente: UNACEM





EL CONSUMO DE ENERGÍA Y EL IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO



8

EL CONSUMO DE ENERGÍA Y EL IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO

El desarrollo de la humanidad ha significado el incremento de las necesidades del ser humano y la atención de las mismas está representando el uso de diversos recursos del planeta y dentro de ello el uso de los combustibles fósiles para generar diversos tipos de energía y su aplicación en diversas actividades económicas como la industrial.

Este uso, cada vez mayor de los combustibles fósiles como energía, aunado a la generación de residuos sólidos y líquidos, han provocado el incremento de los gases de efecto invernadero de procedencia antropogénica, lo que a su vez generó el efecto de incremento de la temperatura media de la tierra denominado "Calentamiento Global" y lo que desencadena una serie de efectos como la intensificación de los desastres naturales que conlleva a grandes pérdidas materiales.

Es por todas estas evidencias que en 1988 se creó el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático – IPCC cuya misión es evaluar en términos exhaustivos, objetivos, abiertos y transparentes la mejor información científica, técnica y socioeconómica disponible sobre el cambio climático en todo el mundo.¹⁶

El IPCC elaboró su Primer Informe de Evaluación¹⁷ el cual se publicó en 1990 donde se confirmó mediante pruebas científicas que el Cambio Climático es un problema evidente y por lo cual la Asamblea General de las Naciones Unidas estableció el Comité Negociador Intergubernamental que redactó la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático – CMNUCC.

Finalmente, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, aprobada en 1992 y que entró en vigor en 1994 reconoce que el cambio climático requiere la unión de esfuerzos a nivel mundial de todos los países quienes, mediante compromisos comunes pero diferenciados, brinden apoyo de acuerdo a sus condiciones de desarrollo social y económico.

- En 1988 se creó el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- En 1992 se creó la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático – UNFCCC por la Asamblea General de las Naciones Unidas

¹⁶ <http://ipcc.ch/pdf/ipcc-faq/ipcc-introduction-sp.pdf>

¹⁷ https://www.ipcc.ch/ipccreports/1992%20IPCC%20Supplement/IPCC_1990_and_1992_Assessments/Spanish/ipcc_90_92_assessments_far_overview_sp.pdf



El objetivo de esta Convención (CMNUCC) es lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero – GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático (CMNUCC, 1992).

Tabla N° 12:
Gases de Efecto Invernadero

Nombre	Fórmula
Dióxido de Carbono	CO ₂
Metano	CH ₄
Óxido Nitroso	N ₂ O
Hidrofluorocarbonos	HFC
Perfluorocarbonos	PFC
Hexafluoruro de azufre	SF ₆

Fuente: Elaboración FONAM

Dicha Convención (CMNUCC) contempla al Desarrollo Sostenible como el pilar de las acciones de mitigación y adaptación del Cambio Climático, para lo cual toma diversas medidas en cuanto al inventario de emisiones de GEI y en cuanto a las medidas de reducción de las mismas.

Mitigación Intervención humana destinada a reducir las fuentes o intensificar los sumideros de gases de efecto invernadero (GEI).

Adaptación Ajuste en sistemas humanos o naturales en respuesta a los estímulos climáticos actuales o esperados o sus efectos, que modera los daños o explota oportunidades beneficiosas. Hay dos tipos de adaptación: reactiva, es decir después de la manifestación de impactos iniciales, y la adaptación planificada la cual puede ser reactiva o anticipatoria (emprendida antes que los impactos sean aparentes). Además, la adaptación puede ser a corto o largo plazo, localizada o extendida, y pueden tener varias funciones y tomar varias formas.

Fuente: IPCC

Así mismo reconoce que los países en general y en especial los países en desarrollo como Perú requieren el acceso a diversos recursos para lograr el desarrollo económico y social sostenible y que para ello incrementan cada vez más su consumo de energía, sin embargo la Convención busca que

este **consumo de energía sea de forma eficiente** y que en su mayoría de apliquen medidas de producción de **energía limpia** con el fin de controlar las emisiones de GEI mediante la aplicación de **nuevas tecnologías** y mediante el **acceso al financiamiento** con el apoyo de los países desarrollados.

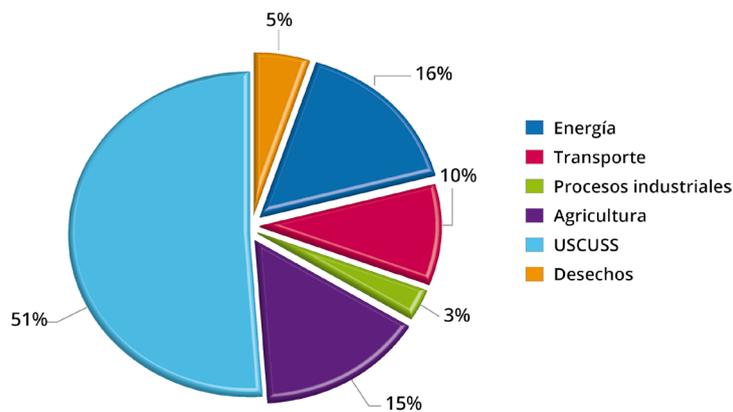


De esta manera la CMNUCC establece una serie de compromisos de los países (Partes) que coadyuvan a la mitigación y adaptación del Cambio Climático, protegiendo principalmente a las Partes más vulnerables a estos efectos, ya sea por su geografía, su ubicación, su condición social o económica para hacerle frente a estos efectos.

8.1 El impacto atmosférico del consumo de energía

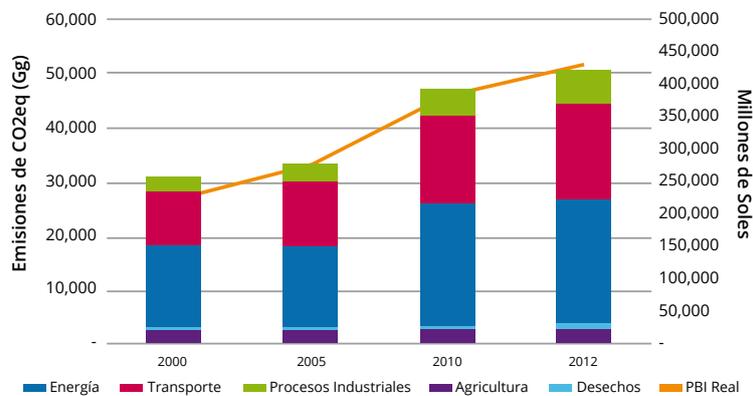
De acuerdo al Inventario nacional de emisiones la industria participa con un 3% de las emisiones totales del país. Es por ello, la importancia de implementar acciones de eficiencia energética a fin de detener o reducir las emisiones de CO₂ generados por el sector industrial.

Figura 19:
Participación de emisiones GEI a nivel nacional



Fuente: MINAM 2012
USC USS: Uso, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura

Figura 20:
Emisiones nacionales de GEI por sectores sin Uso, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USC USS)



Existe una correlación directa entre el crecimiento económico y las emisiones
Fuente: MINAM 2012



8.2 El uso eficiente de la energía como compromiso mundial para la lucha contra el cambio climático

La CMNUCC, el Protocolo de Kyoto y el reciente acuerdo de París de que la temperatura del planeta no se incremente a no más de 2°C y para ello promover el Desarrollo Bajo en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) compromete a los países a considerar esta responsabilidad para los países y también para el Perú. Una forma de atender esta responsabilidad es promover la eficiencia energética que contribuye a la reducción del consumo de energía y por lo tanto a la reducción de GEI. Para ello los países con el apoyo de los países desarrollados trabajarán de la siguiente manera:

- Promover y apoyar con su cooperación el desarrollo, la aplicación y la difusión, incluida la transferencia, de tecnologías, prácticas y procesos que controlen, reduzcan o prevengan las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal en todos

los sectores pertinentes, entre ellos la energía, el transporte, la industria, la agricultura, la silvicultura y la gestión de desechos;

- Aquellos países desarrollados que conforman la Convención, deberán asumir medidas relacionadas con el financiamiento, los seguros y la transferencia de tecnología con el fin de brindar soporte para atender las necesidades y preocupaciones específicas relacionados a los efectos adversos del cambio climático de las Partes que son países en desarrollo incluyendo a los países cuyas economías dependen en gran medida de los ingresos generados por la producción, el procesamiento y la exportación de combustibles fósiles y productos asociados de energía intensiva, o de su consumo; cuya sustitución les ocasione serias dificultades.



8.3 Oportunidades de los compromisos mundiales

Las oportunidades de los compromisos mundiales con la energía están asociadas principalmente a las acciones de mitigación para la reducción de emisiones de GEI. Estas acciones se han tratado en las diversas reuniones COPs de los países miembros de la CMNUCC y se tomaron acuerdos como el Protocolo de Kioto que promovió un mercado regulado para la venta de reducciones y adicionalmente se formó el mercado voluntario de carbono. Luego hubo compromisos

de Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMAs) y recientemente las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (INDCs).

En todas estas acciones el sector energético se considera de significativa participación ya que medidas de eficiencia energética y de empleo de energías limpias son medidas de mitigación que contribuirán a la reducción de emisiones.

8.3.1 Mercado regulado - El Protocolo de Kioto

En 1998, se firma el Protocolo de Kioto, un acuerdo importante que establece compromisos y metas de reducción de emisiones de GEI de 37 países industrializados y la Unión Europea (denominados Países Anexo I dentro del Protocolo de Kioto), reconociendo que son los principales emisores de GEI y por lo tanto responsables del cambio climático¹⁸.

Este Protocolo de Kioto promueve la elaboración de políticas y medidas para cumplir con los objetivos, diferentes en cada país pero que contemple para el caso de energía lo siguiente¹⁹:

- ✓ Fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional.
- ✓ Investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro de dióxido de carbono y

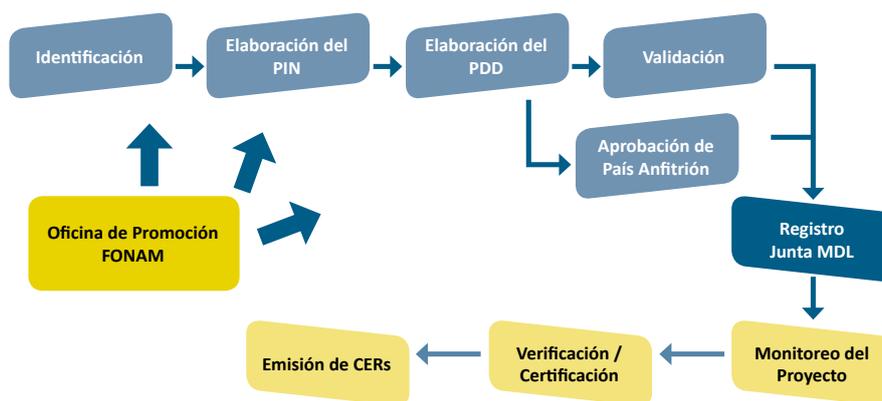


de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales.

Para facilitar el cumplimiento de dichos compromisos, el Protocolo de Kioto establece tres mecanismos de flexibilidad: **Mecanismo de Desarrollo Limpio, Implementación Conjunta y Comercio de Emisiones.**

- ✓ Mecanismo de Desarrollo Limpio: Es el único mecanismo que incluye la participación de los países No Anexo I como el Perú. Los países Anexo I ponen en práctica proyectos de reducción de emisiones de GEI en territorio de países No Anexo I, a partir de lo cual se pueden conseguir los Certificados de Reducción de Emisiones – CERs. De esta manera el MDL fomenta el desarrollo de iniciativas sostenibles en países No Anexo I gracias al aporte de los países Anexo I, quienes por su compromiso de reducción de emisiones de GEI, apoyan estas iniciativas. Aplicar al MDL considera el siguiente proceso:

Figura 21.
Procesos MDL



PIN: Nota Informativa del Proyecto, CER: Certificado de reducción de emisiones
 PDD: Proyecto de Diseño de Documento/Estudio de factibilidad de carbono
 Fuente: Elaboración FONAM

¹⁸ Estos compromisos aplican al principio de la CMNUCC de ser “responsabilidades comunes pero diferenciadas”
¹⁹ Protocolo de Kioto - CMNUCC

8.3.2 Mercado Voluntario de Carbono

En paralelo al desarrollo del Mercado de Carbono regulado por el Protocolo de Kioto, se desarrolló el Mercado Voluntario de Carbono, que como su nombre lo indica, no se encuentra vinculado a ninguna norma de compromisos de reducción de emisiones sino que al contrario se desarrolla de manera voluntaria entre entidades que voluntariamente desean desarrollar iniciativas de lucha contra el cambio climático y lo registran en Estándares Internacionales que se

han ganado credibilidad por el tipo de proyectos que registran. Estas iniciativas también reciben créditos de carbono por las reducciones o secuestro de carbono que resulta de su implementación, a estos créditos se les denomina VERs por sus siglas en inglés o Reducción de Emisiones Voluntarias. El proceso de aplicación es similar al MDL, sin la carta del país anfitrión que en el caso de Perú es el MINAM (Ver Figura 21).

Los Estándares asociados a energía, dentro de este mercado voluntario son los siguientes:

Tabla 13.
Estándares del Mercado Voluntario

Estándares a Nivel Mundial	Alcance
VCS (Verified Carbon Standard)	Energía (renovable / no renovable), distribución de energía, demanda de energía, industrias manufactureras, industria química, entre otros.
GS (Gold Standard)	Energía Renovable, Eficiencia Energética
American Carbon Registry Standard (ACRS)	Eficiencia Energética y Energía Renovable

Fuente: Elaboración FONAM



8.3.3 Caso del Perú

El Perú es un país líder en el mercado mundial del carbono y ha mostrado mucha competitividad teniendo a diciembre del 2015 un potencial de inversiones de proyectos de reducción de emisiones de GEI que representan más de US\$ 13 mil millones con alta participación de proyectos de energía como se puede observar en la siguiente Tabla.

Tabla 14.
Potencial de Proyectos de Reducción de Emisiones de GEI de Perú Kyoto y Voluntario

Sector	Reducción de Emisiones (tCO ₂ e/año)	Inversión (Millones US\$)	Nº Proyectos
Hidroeléctricas	18,070,249.69	7,972.36	88
Líneas de transmisión	30,327.00	130.41	5
Solar	1,028,998.00	385.30	6
Eólicos	2,874,654.60	1,175.90	9
Residuos Sólidos	6,154,218.00	645.33	22
Transporte	649,146.00	742.50	4
Biomasa	1,618,906.00	243.41	22
Cambio de Combustible	600,313.00	150.54	9
Cogeneración	36,359.00	15.92	7
Eficiencia Energética	3,621,513.00	1,725.53	19
Petroquímico	160,000.00	8.00	1
Geotérmico	224,406.00	140.00	1
TOTAL	35,069,090.29	13,335.20	193

Fuente: Elaboración FONAM



Los proyectos de eficiencia energética de la industria cementera pueden aplicar al mercado de carbono ya que al reducir el consumo de energía generan menos emisiones de CO₂, los pasos a seguir para el MDL son los indicados en la figura 21 y para el mercado voluntario es casi igual, sin la carta de aprobación del MINAM. De todo el proceso la elaboración del PDD/Estudio de carbono es la fase principal ya que ahí se indica la calificación como proyecto de carbono y la cantidad de CERs del proyecto de eficiencia energética.

Los proyectos de carbono MDL y del mercado voluntario pueden ser

canalizados en Perú a través del FONAM y otras entidades promotoras.

El Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) es una institución de derecho privado, sin fines de lucro encargada de promover la inversión pública y privada en el desarrollo de proyectos prioritarios ambientales en el Perú. Sus actividades se dirigen a promover la inversión en planes, programas y proyectos orientados al mejoramiento de la calidad ambiental, el uso sostenible de los recursos naturales, y el fortalecimiento de las capacidades para una adecuada gestión ambiental. Más información en www.fonamperu.org

8.4 Financiamiento climático

La preocupación a nivel mundial sobre los efectos del cambio climático y la creciente lucha contra el mismo, ha generado compromisos climáticos principalmente de países desarrollados. Uno de estos compromisos es la reducción de sus emisiones de GEI mediante diversos mecanismos y políticas internas y además el compromiso de los países desarrollados, principales responsables del Cambio Climático de apoyar el financiamiento para las diversas medidas de lucha contra el cambio climático a nivel mundial principalmente para ser implementados en países en desarrollo y países vulnerables a los efectos del cambio climático. Estos compromisos se efectuaron en el Marco de las reuniones anuales de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.

Es importante indicar que por los compromisos contraídos los países desarrollados han estado financiando directamente proyectos energéticos y programas de eficiencia energética a través de los bancos de sus países.

Uno de estos mecanismos financieros recientes que se suman a los indicados líneas arriba es el Fondo Verde del Clima el cual fue adoptado el 2011 por la CMNUCC y el cual tiene como objetivo financiar actividades de mitigación y adaptación al cambio climático mediante el aporte de los países desarrollados por US\$ 100,000 millones anuales para el año 2020 y recientemente en París hay un nuevo objetivo colectivo cuantificado al 2025 (sobre la base de \$100 mil millones anuales al 2020).

Actualmente, el Fondo Verde del Clima ha recibido aportes por más de US\$ 10,200 millones.

Una proporción importante del financiamiento para el clima va dirigido a mitigación y dentro de ello para proyectos/ programas de eficiencia energética y de energías renovables.

Adicionalmente, a los recursos financieros del Fondo Verde del Clima hay otras fuentes financieras como el Fondo Fiduciario, GEF (Fondo Mundial para el Medio Ambiente). Casi la totalidad de los recursos se han destinado a proyectos de mitigación, incluida la energía renovable (36%), la eficiencia energética (30%), y las tecnologías de baja emisión de gases de efecto invernadero (13%).

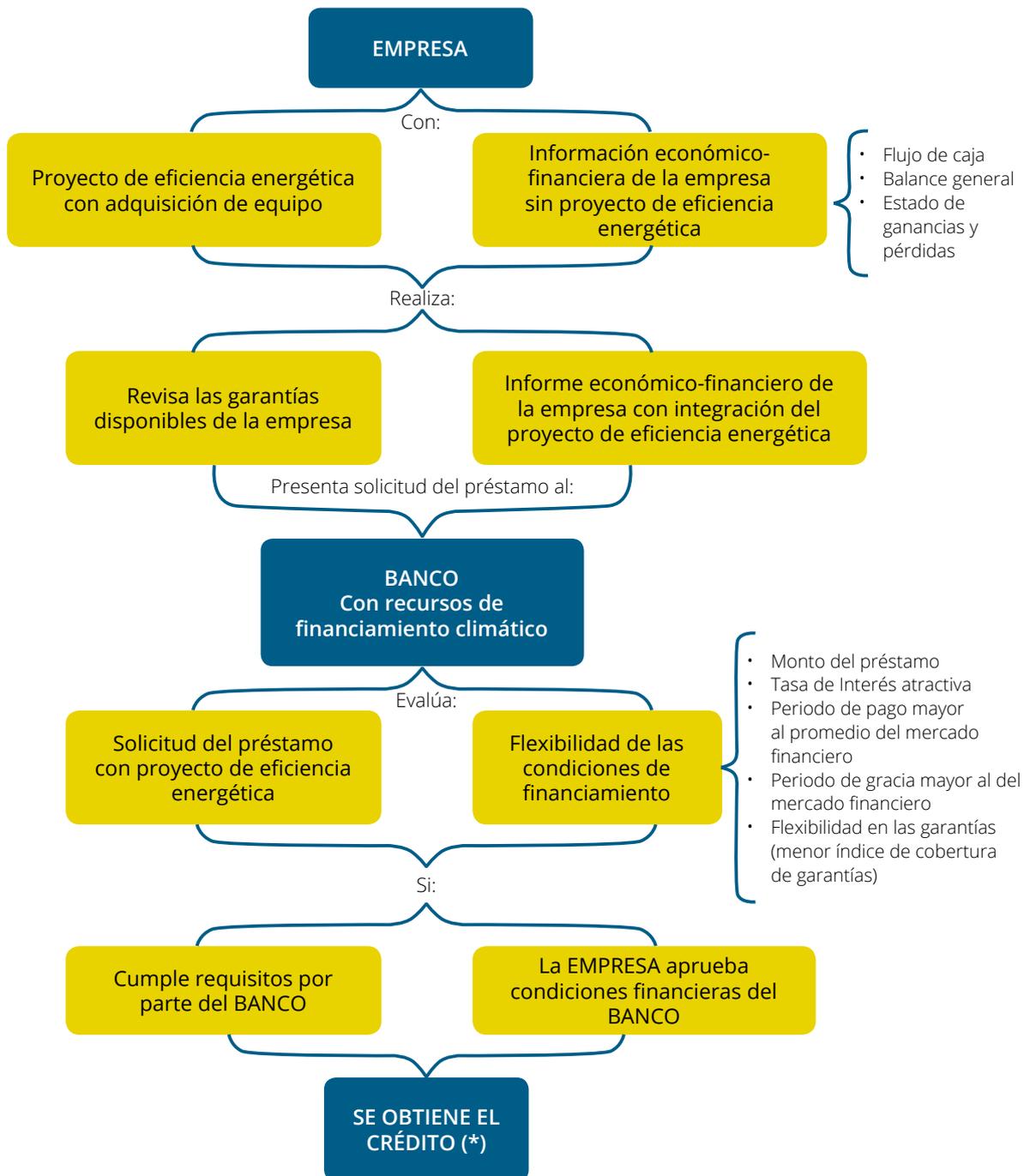
En conclusión, existen diversos compromisos financieros globales que realizan los Países Desarrollados, Bancos de Desarrollo Multilaterales y otras instituciones hacia los países en desarrollo con el fin de financiar proyectos de mitigación y adaptación para la lucha contra el Cambio Climático. Esto es una oportunidad de financiamiento para los proyectos de eficiencia energética.

En el Perú hay recursos de estos fondos aportados de KfW por 120 MM de € y de JICA por US\$ 80MM para ser aplicados entre otros sectores también a los proyectos de eficiencia energética, esto es una oportunidad financiera para las empresas industriales. Estos recursos se encuentran administrados por COFIDE.



Estos recursos del financiamiento climático y de fondos de inversión con responsabilidad ambiental se pueden acceder en los bancos y el proceso a seguir para acceder a dichos fondos es el siguiente:

Figura. 22.
Ciclo de un préstamo con recursos de financiamiento climático



(*) Con posibilidad de obtener asistencia técnica no reembolsable.

Fuente: Elaboración FONAM



BIBLIOGRAFÍA



9

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Benzer H, Ergün L., Lynch A.J., Öner, M., Günlü, A., Çelik, İ.B., and Aydoğan, N.,
- ✓ Modelling Cement Grinding Circuit, Minerals Engineering, 2001, 14(11), 1469-1482.
- ✓ Benzer, H., Ergun, L., Oner, M., and Lynch, A.J., Case studies of models of tube mill and air separator grinding circuits, In: Proc. XXII International Mineral Processing Congress, eds.
- ✓ Campos, J.C., Quispe, E.C., Vidal, J.R., Lora, E. EL MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional. El hombre y la máquina, pp. No 30,18-31, 2008.
- ✓ Campos, J.C., Quispe, E.C., Lora, E., Nueva herramienta para la medición y el control de la eficiencia energética en la gestión de procesos empresariales. Memorias de XI Semana Técnica de Ingeniería. Barranquilla, Colombia, pp. 76-86, 2009.
- ✓ Castrillon, R., González, A., Fandiño, D., Quispe, E., Implementación del SGIE en la Industria del Cemento. [Proyecto I+D. Datos no publicados]. Cali, Colombia: Dirección de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico, Universidad Autónoma de Occidente, 2010.
- ✓ Dusan, G., et al. Development of energy management system - Case study of Serbian car manufacturer. Energy Conversion and Management, 51, pp. 2783-2790, 2010.
- ✓ Fraguela, J. A., Carral, L., Iglesias, G., Castro, A., Rodríguez, M. J., la integración de los sistemas de gestión. Necesidad de una nueva cultura empresarial. Dyna, año 78, (167), pp. 44-49. Medellín, Junio, 2011.
- ✓ Lorenze, V., and D. Bradshaw, 2003, Cape Town, South Africa. CANACEM, Cámara Nacional del Cemento, [en línea]. Dirección URL: <<http://www.canacem.org.mx/index.htm>>. [Consulta: 2 Diciembre 2005].
- ✓ Luque Casanave Manuel H., Ahorro de energía en una empresa minera implementando un variador de velocidad en un lazo de control en cascada; Revista "Energía y Mecánica", N° 46-2015, pp. 12-16, Capítulo de Ingeniería Mecánica y Mecánica Eléctrica-Colegio de Ingenieros del Perú, Lima, Perú.
<http://es.calameo.com/read/004176104009b1eb9b782>
- ✓ Luque Casanave Manuel H., Automatización, herramienta efectiva para la eficiencia energética; Revista UNITEC de la Asociación de Egresados y Graduados de la UNI, Año 1 N°1 Enero 2016, pp. 35-37, Lima, Perú
<https://issuu.com/unitecrevista/docs/unitec-1b>
- ✓ Lynch, A. J., Mineral crushing and grinding circuit – their simulation, optimization, design and control. Elsevier Scientific, Amsterdam, 1977.



- ✓ Meyers, Stephen, De Buen, Odón, Universidad de California, 1993. . Uso de la Electricidad en las Industrias del Acero, Cemento y Papel: Una Perspectiva Internacional.
- ✓ Morrell, S., Shi, F., and Tondo, L., Modelling and scale-up of high pressure grinding rolls. In:Proc. XX International Mineral Processing Congress, eds. HB von Blottnitz and H.Hohberg, 1997, Aachen, Germany.
- ✓ Morvay, Z. and Dusan, G., Relationship between energy use and production volume, in: Applied industrial energy and environmental management. Great Britain, Wiley, pp. 88-109, 2008.
- ✓ Nageswararao K., Further developments in the modelling and scale up of industrial hydrociclones. PhD Thesis, 1978, University of Queensland (JKMRC).
- ✓ Navarro, J., Reyes Bahena, J.L., Lynch, A.J., and López Valdivieso, A., Modelación del circuito de molienda No. 6. Reporte Interno, 1998, Instituto de Metalurgia, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- ✓ Worrell, Ernst, Galitsky, Christina. Universidad de California, 2004. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making. An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers
- ✓ Lineamientos de Política de cambio climático para el sector energético, Julia Justo – OLADE 2015
- ✓ Guía de implementación de la ISO 50001, Agencia Chilena de Eficiencia Energética
- ✓ Guía Metodológica de Diagnóstico Energético, FONAM-BID/FOMIN
- ✓ Guía Modelo N° 05 Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético – Industria Cementera de la Dirección General de Electricidad – Ministerio de Energía y Minas – Perú



Material Audiovisual (links):

- ✓ Eficiencia energética y sostenibilidad en el sector cemento
<https://www.youtube.com/watch?v=IL8X0cdZKiU>
- ✓ Tipos de combustible en hornos de cemento
<https://www.youtube.com/watch?v=dcApAyuRlk4>
- ✓ Optimización en al producción de cemento
<https://www.youtube.com/watch?v=MVrXeBoPMKg>
- ✓ Caso de eficiencia energética en una planta cementera en Turquía
<https://www.youtube.com/watch?v=zEfnYy1HWbc>
- ✓ Sostenibilidad en la fabricación de cemento
<https://www.youtube.com/watch?v=ilb9motH1ac>
- ✓ Solución de gestión energética para la industria
<https://www.youtube.com/watch?v=gj9QNlmyhYw>
- ✓ Eficiencia energética en iluminación en la industria (planta y almacenes) con tecnología LED
<https://www.youtube.com/watch?v=1iRLAi4f6f8>

Software libre para aplicaciones de eficiencia energética en planta

- ✓ Para gestión de la energía en plantas industriales
<http://www.reliableplant.com/Read/17577/industrial-energy-use>
- ✓ Para motores eléctricos :
<http://www.energy.gov/eere/amo/articles/motormaster>
- ✓ Plataforma para la eficiencia energética en instalaciones
<http://energy.gov/eere/buildings/standard-energy-efficiency-data-platform>
- ✓ Paquete de programas de energías limpias RETScreen.
<http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>
- ✓ Software de utilidad para la gestión de eficiencia energética en planta
<http://info.energycap.com/free-energy-management-tools>





GLOSARIO



10

GLOSARIO

- **Balance energético:** Valor estadístico de un sistema dado, proceso, región o área económica, en un período de tiempo dado, de la cantidad de oferta de energía y la energía consumida, incluyendo las pérdidas por conversión, transformación y transporte, así como las formas de energía no empleadas con fines energéticos.
- **Bomba de calor:** Aprovechan el calor geotérmico de suelos o de residuos de procesos para elevar el nivel energético a través de un fluido refrigerante en un Ciclo de Carnot Invertido, lográndose mayores temperaturas que las iniciales, lo que permite el aprovechamiento como fuente de calor en procesos.
- **Cal:** La cal es un agente aglutinante obtenido a partir de la calcinación de la piedra caliza. Puede dividirse en dos categorías, en función de si se consigue por la exposición al dióxido de carbono (cal muerta) o al agua (cal hidráulica). La primera se usa principalmente en enlucidos tradicionales de acabado, mortero para juntas y encalados, mientras que la segunda contiene arcilla, por lo que tiene unas propiedades semejantes al cemento que hacen que se pueda utilizar como una primera capa o como enlucido.
- **Cemento:** El cemento es un agente adherente hidráulico que se obtiene calentando y moliendo una mezcla de piedra caliza y arcilla. La mayoría de los cementos se producen con clínker y aditivos que, normalmente, se utilizan en forma de polvo. El cemento fragua cuando se mezcla con agua. Combinado con arena y áridos se convierte en mortero o en hormigón, ambos con la dureza de la piedra. El cemento se obtiene al triturar el clínker y, en algunos casos, añadir una serie de aditivos.
- **Clinker:** El clínker es el ingrediente principal del cemento. Gránulos endurecidos que se obtienen de la combustión de la mezcla de, aproximadamente un 80% de piedra caliza y un 20% de arcilla a temperaturas muy elevadas.
- **CO₂:** El dióxido de carbono (CO₂) es un gas de efecto invernadero. Se produce por la combustión de compuestos orgánicos y en los sistemas respiratorios de animales y plantas. La industria del cemento emite CO₂ de forma natural. El 60% de las emisiones se debe a la transformación físico-química de las materias primas a elevadas temperaturas, el 40% resulta de la combustión necesaria para calentar el horno de cemento hasta alcanzar los 1.500 °C.
- **Eficiencia energética:** Está asociada al concepto de conservación de la energía, pero no puede entenderse solamente como una reducción del consumo. Los países de América Latina



tienen un desafío doble, crear las condiciones para una adecuada calidad de vida de toda la población, que en muchos casos necesita aumentar su consumo de energía, y al mismo tiempo reducir la cantidad de energía que es convertida en bienes y servicios.

- **Unidades:**

- GW Gigavatio : Unidad de potencia que equivale a 1.000 megavatios (MW)
- Wh Gigavatio/hora : Unidad de energía que equivale a 1.000 megavatios/hora (MWh)
- KW Kilovatio : Unidad de potencia, equivale 1000 Watts (ó vatios).
- KWh Kilowatt hora : La potencia de mil watts aplicada durante una hora (o una potencia equivalente). 1 kWh es una unidad de energía - 1 kWh = 3600 Joules.

- **Variador de velocidad:** Equipo electrónico que permite variara la velocidad de los motores eléctricos. Opera bajo el principio de variación de la frecuencia de alimentación al motor. Son de dos tipos; uno de torque variable (apropiado para bombas, ventiladores) y otro de torque constante (apropiado para molinos y fajas transportadoras)







ANEXOS



11 ANEXOS

Anexo 1. Pliego Tarifario

Pliego Tarifario Máximo del Servicio Público de Electricidad

Empresa: Edelnor

Pliego	Vigencia	Sector	Interconexión
LIMA NORTE	4/Mar/2016	2	SEIN
MEDIA TENSIÓN		UNIDAD	TARIFA Sin IGV
TARIFA MT2	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.93
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	21.47
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	17.89
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S./kW-mes	50.99
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S./kW-mes	9.86
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S./kW-mes	11.07
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.53
TARIFA MT3:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.12
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	21.47
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	17.89
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	45.54
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	31.02
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	10.92
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	10.98
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.53
TARIFA MT4:	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.12
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	18.75
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	45.54
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	31.02
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	10.92
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	10.98
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.53



	BAJA TENSIÓN	UNIDAD	TARIFA Sin IGV
TARIFA BT2:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.93
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	23.25
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	19.37
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S./kW-mes	53.77
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S./kW-mes	48.44
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S./kW-mes	37.71
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.53
TARIFA BT3:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.12
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	23.25
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	19.37
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	49.73
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	34.06
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	50.41
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	45.79
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.53
TARIFA BT4:	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.12
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	20.30
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	49.73
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	34.06
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	50.41
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	45.79
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.53
TARIFA BT5A:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 2E		
	a) Usuarios con demanda máxima mensual de hasta 20kW en HP y HFP		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.12
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	129.70
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	19.37
	Cargo por Exceso de Potencia en Horas Fuera de Punta	S./kW-mes	43.99
	b) Usuarios con demanda máxima mensual de hasta 20kW en HP y 50kW en HFP		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.12
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	146.33
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	19.37
	Cargo por Exceso de Potencia en Horas Fuera de Punta	S./kW-mes	43.99
TARIFA BT5B:	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E		
No Residencial	Cargo Fijo Mensual	S./mes	2.50
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	48.04
TARIFA BT5B	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E		
Residencial	a) Para usuarios con consumos menores o iguales a 100 kW.h por mes		
	0 - 30 kW.h		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	2.43
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	34.92
	31 - 100 kW.h		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	2.43
	Cargo por Energía Activa - Primeros 30 kW.h	S./mes	10.48



	BAJA TENSIÓN	UNIDAD	TARIFA Sin IGV
	Cargo por Energía Activa - Exceso de 30 kW.h	ctm. S./kW.h	46.56
	b) Para usuarios con consumos mayores a 100 kW.h por mes		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	2.50
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	47.96
TARIFA BT5C:	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E - Alumbrado Público		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.58
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	51.49
TARIFA BT6:	TARIFA A PENSIÓN FIJA DE POTENCIA 1P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	2.50
	Cargo por Potencia	ctm. S./W	20.44
TARIFA BT7:	TARIFA CON SIMPLE MEDICION DE ENERGIA 1E		
No residencial	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema recarga Códigos/Tarjetas	S./mes	2.22
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	47.20
TARIFA BT7:	TARIFA CON SIMPLE MEDICION DE ENERGIA 1E		
Residencial	a) Para usuarios con consumos menores o iguales a 100 kW.h por mes		
	0 - 30 kW.h		
	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recarga Códigos/Tarjetas	S./mes	2.16
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	34.37
	31 - 100 kW.h		
	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recarga Códigos/Tarjetas	S./mes	2.16
	Cargo por Energía Activa - Primeros 30 kW.h	S./mes	10.31
	Cargo por Energía Activa - Exceso de 30 kW.h	ctm. S./kW.h	45.83
	b) Para usuarios con consumos mayores a 100 kW.h por mes		
	Cargo Comercial del Servicio Prepago - Sistema de recarga Códigos/Tarjetas	S./mes	2.22
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	47.20

Nota: Las empresas no deben aplicar precios superiores a los consignados en el presente cuadro.



Tarifas de Gas Natural

 Cálidda GAS NATURAL DEL PERÚ		TRABAJAMOS PARA QUE LOS BENEFICIOS DEL GAS NATURAL LLEGUEN A USTED	
		Tarifa en S/. (6)	
EMPRESA: GAS NATURAL DE LIMA Y CALLAO S.A. 1. PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL: TARIFAS ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN		UNIDAD	Aplicable por el servicio desde el 1 de Febrero de 2016
CATEGORÍA A1 Rango de Consumo Hasta 30 am3/mes	TARIFAS ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN (1)		
	Margen de Comercialización : Margen Fijo de Comercialización (MFC) Margen de Distribución: Margen Variable de Distribución (MVD)	S/ Cliente mes S/ / 1000 sm3	1 4099 539 9000
	GAS Y TRANSPORTE		
	Precio del gas en boca de pozo Tarifa de Transporte de Gas Natural via la Red Principal (2)	S/ ./GJ S/ / 1000 sm3	2.8401 (5) X TCPG (3) 37.6692 X TCRP 4
CATEGORÍA A2 Rango de Consumo 31 x 300 am3/mes	TARIFA ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN (1)		
	Margen de Comercialización : Margen Fijo de Comercialización (MFC) Margen de Distribución: Margen Variable de Distribución (MVD)	S/ Cliente Mes S/ / 1000 sm3	4.6703 385.4876
	GAS Y TRANSPORTE		
	Precio del gas en boca de pozo Tarifa de Transporte de Gas Natural via la Red Principal (2)	S/ ./GJ S/ / 1000 sm3	2.8401 (5) X TCPG (3) 37.6692 X TCRP 4
CATEGORÍA B Rango de Consumo 301 - 1300 a7,500 m3/mes	TARIFA ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN (1)		
	Margen de Comercialización : Margen Fijo de Comercialización (MFC) Margen de Distribución: Margen Variable de Distribución (MVD)	S/ Cliente Mes S/ / 1000 sm3	81.7443 211.1017
	GAS Y TRANSPORTE		
	Precio del gas en boca de pozo Tarifa de Transporte de Gas Natural via la Red Principal (2)	S/ ./GJ S/ / 1000 sm3	2.8401 X TCPG (3) 37.6692 X TCRP 4
CATEGORÍA C Rango de Consumo 17,501 - 300,000 m3/ mes	TARIFA ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN (1)		
	Margen de Comercialización: Margen Fijo de Comercialización (MFC) Margen de Distribución: Margen Fijo de Distribución (MFD) Margen Variable de Distribución (MVD)	5/ ./ (m3/dla) - mes 5/ ./ (m3/dla) - mes S/ / 1000 m3	0.0317 0.4841 80.5694
	GAS Y TRANSPORTE		
	Precio del gas en boca de pozo Tarifa de Transporte de Gas Natural via la Red Principal (2)	S/ ./GJ S/ / 1000 sm3	2.8401 X TCPG (3) 37.6692 X TCRP 4
CATEGORÍA IP (7) Para instituciones públicas independientes del consumo	TARIFA ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN (1)		
	Margen de Comercialización: Margen Fijo de Comercialización (MFC) Margen de Distribución: Margen Fijo de Distribución (MFD) Margen Variable de Distribución (MVD)	5/ ./ (m3/dla) - mes 5/ ./ (m3/dla) - mes S/ / 1000 m3	0.0317 0.4841 80.5694
	GAS Y TRANSPORTE		
	Precio del gas en boca de pozo Tarifa de Transporte de Gas Natural via la Red Principal (2)	S/ ./GJ S/ / 1000 sm3	2.8401 X TCPG (3) 37.6692 X TCRP 4
CATEGORÍA D Rango de Consumo 300,001 -900,000 m3/ mes	TARIFA ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN (1)		
	Margen de Comercialización: Margen Fijo de Comercialización (MFC) Margen de Distribución: Margen Fijo de Distribución (MFD) Margen Variable de Distribución (MVD)	5/ ./ (m3/dla) - mes 5/ ./ (m3/dla) - mes S/ / 1000 m3	0.0317 0.4841 80.5694
	GAS Y TRANSPORTE		
	Precio del gas en boca de pozo Tarifa de Transporte de Gas Natural via la Red Principal (2)	S/ ./GJ S/ / 1000 sm3	2.8401 X TCPG (3) 37.6692 X TCRP 4
CATEGORÍA GNV Para Estaciones de Servicio y/o Gasocentros de GNV Independiente del Consumo	TARIFA ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN (1)		
	Margen de Comercialización: Margen Fijo de Comercialización (MFC) Margen de Distribución: Margen Fijo de Distribución (MFD) Margen Variable de Distribución (MVD)	5/ ./ (m3/dla) - mes 5/ ./ (m3/dla) - mes S/ / 1000 m3	0.0364 0.5531 92.0835
	GAS Y TRANSPORTE		
	Precio del gas en boca de pozo Tarifa de Transporte de Gas Natural via la Red Principal (2)	S/ ./GJ S/ / 1000 sm3	2.8401 X TCPG (3) 37.6692 X TCRP 4
CATEGORÍA E Rango de Consumo Mayor a 900,000 m3/ mes	TARIFA ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN (1)		
	Margen de Comercialización: Margen Fijo de Comercialización (MFC) Margen de Distribución: Margen Fijo de Distribución (MFD) Margen Variable de Distribución (MVD)	5/ ./ (m3/dla) - mes 5/ ./ (m3/dla) - mes S/ / 1000 m3	0.1019 1.5518 54.3689
	GAS Y TRANSPORTE		
	Precio del gas en boca de pozo Tarifa de Transporte de Gas Natural via la Red Principal (2)	S/ ./GJ S/ / 1000 sm3	2.8401 X TCPG (3) 37.6692 X TCRP 4
CATEGORÍA GE Generador Eléctrico Independiente del Consumo	TARIFA ÚNICAS DE DISTRIBUCIÓN (1)		
	Margen de Comercialización: Margen Fijo de Comercialización (MFC) Margen de Distribución: Margen Fijo de Distribución (MFD) Margen Variable de Distribución (MVD)	5/ ./ (m3/dla) - mes 5/ ./ (m3/dla) - mes S/ / 1000 m3	0.0843 1.2830 44.9403
	GAS Y TRANSPORTE		
	Precio del gas en boca de pozo Tarifa de Transporte de Gas Natural via la Red Principal (2)	S/ ./GJ S/ / 1000 sm3	1.5778 X TCPG (3) 37.6692 X TCRP 4

1. Tipo de Cambio S/. 3.4452
2. Precificado por Resolución Osinermin N° 100-2009-05/CD que, a partir del 1 de mayo de 2009, el costo de transporte para consumidores regulados será igual al producto del costo medio de transporte por el volumen consumido. El costo medio de transporte resulta del cociente entre el monto total pagado por el servicio de transporte y el volumen total transportado. Conforme a la Ley W 29852 v reglamento aprobado Por Decreto Supremo N° 021-2012-EM, a partir del 10 de junio de 2012, se incluye el recamo por et Fondo de Inclusión Social Energético (RISE).
3. Tipo de Cambio del Precio del Gas Natural a calcular en la factura de cada mes según lo dispuesto en el artículo N° 13 de la Resolución OSINERMIN N° 086-2014-05/CD.
4. Tipo de Cambio de la Tarifa de Transporte de Red Principal conforme lo dispuesto en la Resolución Osinermin N° 033-2014-05/CD.
5. Para los primeros 100,000 clientes de las Categorías Tarifarias A1 y A2 se aplica un descuento promocional equivalente a 63% del precio del gas natural en boca de pozo hasta alcanzar un máximo de 1,500 m³ de ABS natural por cliente.
6. Valor Venta. No incluye IGV.
7. Tales como hospitales, centros de salud e instituciones educativas.



Tarifas de agua



SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LIMA - SEDAPAL S.S.

**ESTRUCTURA TARIFARIA APROBADA MEDIANTE
RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 022-2015-SUNASS-CD**

Por los servicios de Agua Potable y Alcantarillado

1. CARGO FIJO (S/. / Mes) 4,886
2. CARGO POR VOLUMEN

CLASE CATEGORÍA	RANGOS DE CONSUMOS	Tarifa (S/. / m3)	
	m ³ /mes	Agua Potable	Alcantarillado ⁽¹⁾
RESIDENCIAL			
Social	0 a más	1,116	0,504
Domestico	0 - 10	1,116	0,504
	10 - 25	1,295	0,586
	25 - 50	2,865	1,293
	50 a más	4,858	2,193
NO RESIDENCIAL			
Comercial	0 a 1000	4,858	2,193
	1000 a más	5,212	2,352
Industrial	0 a 1000	4,858	2,193
	1000 a más	5,212	2,352





Dirección General de Eficiencia Energética
Av. Las Artes Sur 260 San Borja. Lima - Perú
Teléfono (+511) 4111100
webmaster@minem.gob.pe