

**IDENTIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE COGENERACIÓN PARA OBTENCIÓN  
DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN INDUSTRIAS LADRILLERAS DE GRAN  
ESCALA**



**LUIS ABRAHAN CAMELO MALAGÓN**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BOGOTÁ D.C.  
2015**

**IDENTIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE COGENERACIÓN PARA OBTENCIÓN  
DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN INDUSTRIAS LADRILLERAS DE GRAN  
ESCALA**

**LUIS ABRAHAN CAMELO MALAGÓN**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Electricista**

**Director  
Andrés Felipe Panesso Hernández, M.Sc.  
Profesor Asistente**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BOGOTÁ D.C.  
2015**

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C., Julio de 2015

*Dedico este trabajo de grado a DIOS, y a la Virgen María, a mis Padres quienes aconsejaron, a mis Hermanos de apoyo incondicional, a mis Profesores y compañeros de estudios por compartir conocimientos, a mi Esposa y mis dos Hijas por brindarme amor y felicidad, a todos ellos dedico este trabajo por apoyar, aconsejar y compartir en su momento.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco este trabajo de grado primeramente a Dios por bendecirme, hiciste realidad mi sueño anhelado. A la UNIVERSIDAD DE LA SALLE por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional, pertenecer a una promoción de triunfadores y ser persona productiva.

A mi director, el ingeniero Andrés Felipe Panesso Hernández, por su dedicación y esfuerzo, quien con su experiencia y sus conocimientos, además de su motivación, me ha guiado para culminar mis estudios.

Me gustaría agradecer a mi Familia por el apoyo económico brindado durante todos mis estudios de ingeniería, también a mis Profesores por las enseñanzas y el tiempo dedicado, a mi Esposa por su dedicación, a mis Hijas por ser personas sanas, llenas de felicidad, por traer bendiciones a mi hogar, muchas gracias y que Dios los bendiga.

Agradezco a todas las personas que hicieron posible este trabajo, por compartir sus conocimientos y tiempo prestados, sus consejos y apoyos incondicionales.

# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Antecedentes.....	14
1.2 Presentación del problema.....	15
1.3 Objetivos del proyecto.....	16
1.3.1 Objetivo general.....	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 Aportes del proyecto.....	17
1.5 Estructura del documento.....	17
2. LA INDUSTRIA LADRILLERA EN COLOMBIA.....	18
2.1 El ladrillo.....	18
2.2 Proceso productivo en la elaboración de ladrillos.....	18
2.2.1 Relación del proceso productivo vs maquinaria y equipo utilizado.....	20
3. GENERALIDADES DE LA COGENERACIÓN DE ENERGÍA.....	24
3.1 Cogeneración.....	24
3.2 Principales sistemas de cogeneración.....	25
3.2.1 Cogeneración con turbinas de vapor.....	25
3.2.2 Cogeneración con turbinas de gas.....	25
3.2.3 Cogeneración con ciclo combinado.....	26
3.2.4 Cogeneración con motor alternativo.....	26
3.3 La cogeneración: una alternativa para mejorar los procesos de generación de electricidad.....	26
3.4 La cogeneración como alternativa energética sostenible.....	26
3.5 Nivel nacional de potencial de cogeneración.....	27
4. IDENTIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE COGENERACIÓN EN LA INDUSTRIA LADRILLERA A GRAN ESCALA.....	28
4.1 Esquemas de cogeneración.....	28
4.1.1 Sistema de cogeneración de ciclo de cabecera.....	28
4.1.2 Sistema de cogeneración de ciclo de cola.....	29
4.2 Sistemas básicos de cogeneración.....	29
4.2.1 Tecnologías de cogeneración.....	30
4.3 Sistema de cogeneración utilizado para la fabricación de ladrillo.....	36
5. USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN LA INDUSTRIA LADRILLERA.....	38
5.1 Amasado con vapor para arcillas muy plásticas.....	39
5.2 Cocción con hornos continuos.....	39

5.3	Recuperación del calor sensible de los humos de hornos.....	39
5.4	Secado del ladrillo aprovechando la energía liberada en el horno .....	40
5.5	Beneficios medio ambientales.....	40
6.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	42
6.1	Conclusiones generales .....	42
6.2	Recomendaciones .....	42
6.3	Trabajo futuro.....	43
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Demanda de energía eléctrica y térmica en el proceso de fabricación de ladrillos, baldosas y tejas de arcilla.....	20
Tabla 2. Tecnología utilizada en la preparación. ....	21
Tabla 3. Datos de comportamientos para varios sistemas de cogeneración. ....	30
Tabla 3. Componentes en centrales cogeneradoras.....	36



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Proceso productivo. ....	19
Figura 2. Horno tipo Túnel.....	22
Figura 3. Horno Hoffman.....	22
Figura 2. Sistema de cogeneración ciclo de cabecera. ....	28
Figura 3. Sistema de cogeneración ciclo de cola. ....	29
Figura 4. Esquema de funcionamiento de una turbina de vapor. ....	31
Figura 5. Esquema con HRSG. ....	32
Figura 6. Componentes y esquema para un sistema de turbina de gas. ....	32
Figura 7. Esquema de motor de combustión interna. ....	33
Figura 8. Esquema de sistema de cogeneración con motor. ....	33
Figura 9. Esquema de ciclo combinado. ....	35
Figura 10. Sistema de cogeneración en la industria ladrillera. ....	37

## GLOSARIO

**AUTOGENERACIÓN:** La autogeneración es una solución energética alternativa usualmente implementada por industriales y productores de hidrocarburos, cuya principal ventaja es una disminución significativa del costo de energía eléctrica frente al suministro desde la red pública.

**CADENA ENERGÉTICA:** Es el conjunto de todos los procesos y actividades tendientes al aprovechamiento de la energía que comienza con la fuente energética y se extiende hasta su uso final.

**CALOR RESIDUAL INDUSTRIAL:** Energía térmica desperdiciada desde un proceso industrial emitida en forma de calor, que potencialmente podría ser aprovechada como fuente energética en el mismo proceso o en otros asociados a la producción o para servicios energéticos complementarios.

**COGENERACIÓN:** La cogeneración es el procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil (usualmente en forma de vapor). Otra ventaja, es que al producir la electricidad cerca del consumo, se evitan cambios de tensión y transporte, que representan una pérdida notable de energía por efecto joule.

**COGENERADOR:** Según la CREG 005 de 2010, el cogenerador es la persona natural o jurídica que tiene un proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica como parte integrante de su actividad productiva, que reúne las condiciones y requisitos técnicos para ser considerado como cogeneración. El cogenerador puede o no, ser el propietario de los activos que conforman el sistema de cogeneración; en todo caso el proceso de cogeneración debe ser de quien realice la actividad productiva de la cual hace parte.

**COMBUSTIBLE PRINCIPAL PARA COGENERACIÓN:** Corresponde al combustible que aporta o que proyecte aporte de más del cincuenta por ciento de la energía primaria al proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica en un periodo de un año de operación.

**FUENTE ENERGÉTICA:** Se describe como todo elemento físico del cual se puede obtener energía, con el objeto de aprovecharla. Se dividen en fuentes energéticas convencionales y no convencionales.

**URE:** son las siglas del Uso Racional y Eficiente de la energía, con el fin de mitigar los impactos ambientales, usando fuentes energéticas como la solar, eólica, mareomotriz, biomasa, entre otras. En realidad lo que se busca con el URE es optimizar el uso de energía aprovechando lo que se desperdicia en todo momento y en cada proceso.

**USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA:** Utilización de la energía, de tal manera que se obtenga la mayor eficiencia energética, bien sea de una forma original de energía o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.

## RESUMEN

En Colombia la industria ladrillera desaprovecha la energía calórica residual de sus procesos de producción, es por ello que la identificación de técnicas de cogeneración para obtención de energía eléctrica en dichas empresas es una tarea innovadora y urgente si se tiene en cuenta el impacto ambiental y la denominada “crisis energética” que tiene como consecuencia escasez y altos costos del suministro debido a que las fuentes de producción son cada vez menores y la demanda aumenta.

El presente documento centra su atención en industrias ladrilleras de gran escala o gran industria, se plantea identificar las condiciones y requerimientos eléctricos determinando las técnicas de cogeneración que permitan obtener energía eléctrica a partir de altas temperaturas, determinar los beneficios medioambientales que aportarían a través de la implementación de procesos de cogeneración.

Como un primer aspecto se hace referencia a las empresas nacionales que han implementado la cogeneración dentro de sus procesos señalando como han llegado a la autosuficiencia en la producción y uso de energía eléctrica. Posteriormente se hace mención de la parte legal destacando el conjunto de acuerdos, normas, leyes o decretos inherentes al uso eficiente de la energía o el calentamiento global a los cuales todas las empresas deben dar cumplimiento.

A manera de contexto se mencionan las características más comunes de la empresa ladrillera, el proceso productivo para la fabricación del mismo y la presentación de las máquinas más utilizadas en el proceso. A partir de ello se plantea el significado, aplicaciones y maneras de conseguir la cogeneración.

Con este conocimiento previo se profundiza en la identificación de las técnicas que más se adecuan al interior de la industria ladrillera a gran escala para determinar el uso eficiente de la energía a través de las técnicas identificadas.

## **ABSTRACT**

In Colombia, the brick industry misses the residual heat energy from their production processes. Thus the identification of cogeneration techniques to obtain electric energy, in these companies is an innovative and urgent task if is consider the environmental impact and the called "energy crisis" that has resulted in shortage and high costs of supplying since sources of production are increasingly less and demand increases.

This document focuses the attention on large-scale brick industries, it propose to identify the conditions and electrical requirements by determining the techniques of cogeneration to obtain electricity energy parting from high temperatures, determine the environmental benefits, which would contribute through the implementation of processes of Cogeneration.

As a first aspect that is referring to national companies, which have implemented the cogeneration within their processes by pointing out how, they have reached self-sufficiency in the production and use of electric power. Later mentions the legal part emphasizes on set of agreements, standards, laws or decrees inherent to the efficient use of energy or global warming to which all companies must comply with it.

In this context, the most common characteristics of the company brick, the production process for the manufacture thereof and the presentation of the machines most used in the process. From this, arise the meaning, applications, and ways to get cogeneration.

With this previous knowledge, deepening on the identification of techniques that are more adequate to the interior of the brick industry to large-scale, determining the efficient use of the energy through the identified techniques.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

En Colombia a partir de la Ley 697 de 2001 que declara el uso racional y eficiente de la energía como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, se han gestado acciones importantes alrededor del tema energético. De hecho a partir de la misma Ley se estableció “el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes no Convencionales (PROURE)” que apoyado en la resolución 180919 adoptó el Plan de Acción Indicativo 2010 – 2015 con visión 2020, estableciendo estrategias y acciones que se procuraran desarrollar mediante la participación en los alcances y la implementación de compromisos con los actores tanto públicos como privados con miras a lograr los impactos esperados en productividad, competitividad, disminución de los impactos ambientales, mejoramiento de la calidad de vida y acceso a fuentes no convencionales de energías limpias y renovables para todos los ciudadanos. Como un subprograma sectorial a nivel de industrias el Plan de Acción Indicativo, le apunta a la Cogeneración y Autogeneración con la intención de que en Colombia toda la cadena energética pueda cumplir con los mínimos de eficiencia (PROURE, 2010).

Incauca S.A. hizo realidad el proyecto de cogeneración de energía eléctrica en el que se venía trabajando desde la década de los 80, pasando de producir 8 MW que consumía en sus procesos, a una capacidad instalada de 36 MW. Se convirtió así en el primer proyecto de cogeneración privado que le entregó energía eléctrica a la red pública en Colombia, utilizando para ello la combustión del bagazo resultante de la molienda de la caña de azúcar. (Portal de Internet Incauca S.A.).

Son destacables los esfuerzos de las directivas de más de 30 compañías en Colombia que han optado por aplicar en sus procesos industriales la cogeneración, es decir, utilizar los vapores o gases de la combustión como fuente para producir parte de la energía que consumen, entre esas compañías se destacan: Codegas S.A. E.S.P., Pastas Doria, Empacor, Corona, Monómeros, Cervecería Águila, Tecnoglass, Corpacero y Cartón Colombia.

Adicionalmente los sectores económicos que han adoptado paulatinamente el modelo de la cogeneración en Colombia son: el papelerero, de alimentos, azucarero, farmacéutico, de materiales para la construcción (vidrios, cemento, cerámicos), metalúrgico y petroquímico. En el Valle del Cauca cogeneran con gas natural cinco empresas de diferentes sectores y los 12 ingenios de la región, usando como fuente la biomasa (bagazo de la caña de azúcar).

Sin embargo y a pesar de los adelantos mundiales, las energías alternativas y las políticas de cogeneración en Colombia no han aumentado como se esperaba, debido a los altos costos de inversión y el bajo conocimiento de las tecnologías inherentes a las mismas, de otro lado los incentivos actuales no han sido suficientes para la promoción del uso de las energías alternativas (López, 2011).

Las características de las empresas que utilizan la autogeneración son las que tienen un consumo superior a 900 MWh/mes, con al menos una base de consumo estable durante las 24 horas de los siete días de la semana.

La Asociación Nacional de Empresarios de Colombia - ANDI (antes Asociación Nacional de Industriales) está promoviendo en el país fuertemente la industria de la cogeneración, como una alternativa viable. Esto es de gran importancia para que los empresarios tomen conciencia de las grandes ventajas que ofrece dicha tecnología. Con la cogeneración se aprovecha la energía térmica sobrante del proceso de la generación de energía eléctrica, ocasionando con ello una mejor utilización de los recursos energéticos y en consecuencia mejorando notablemente la eficiencia de los procesos productivos de la industria. Se debe tener en cuenta que la cogeneración no solo beneficia a los empresarios para ahorrar dinero en cuanto a sus recursos energéticos, sino que además tiene un gran beneficio sobre el medio ambiente, ya que se genera a partir de los gases y las emisiones producidas por los generadores térmicos (López, 2011).

También con la implementación de la ISO 14000 (protocolo de Kyoto), las empresas están en la obligación de mejorar los procesos que perjudican el medio ambiente y para poder tener una garantía de exportación deben hacer lo posible por obtener estos certificados que los acrediten como empresas responsables con la ecología. Sin embargo, para crear un escenario que facilite el auge de la cogeneración es necesario establecer un marco legal adecuado en el cual, el sector productivo y el gobierno nacional se comprometan en el desarrollo de dicha reglamentación (López, 2011).

## **1.2 Presentación del problema**

En general, la industria ladrillera en Colombia desaprovecha la energía calórica residual de sus procesos de producción, generando con ello desperdicio energético y fomentando el consumo de los recursos energéticos cuya explotación en el planeta causa un impacto ambiental, que contribuye al deterioro de la capa de ozono y por ende aporta al calentamiento global. Esta situación acrecienta el fenómeno mundial conocido como “crisis energética” que tiene como consecuencia escasez y altos costos del suministro debido a que las fuentes de

producción son cada vez menores y la demanda aumenta. En este sentido, el precio de ese desaprovechamiento de energía se traduce en detrimento económico para la industria pues la facturación de la energía eléctrica, es considerable en este tipo de empresas y de manera particular en las de gran escala.

Es claro entonces que la emisión constante a la atmósfera de los denominados “gases invernadero” contribuirá al cambio climático donde el incremento de las temperaturas y su influencia en otros factores del clima tendrán como consecuencia efectos graves para los habitantes del planeta y la conservación de los actuales ecosistemas y que por ello cada vez deben ser más los sectores económicos que se unan al concepto de “Eficiencia Energética” entendida como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir el confort y la calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso.

A partir de lo anterior, con este trabajo se pretende responder la siguiente pregunta ¿la cogeneración de energía eléctrica en las industrias ladrilleras de gran escala a partir del aprovechamiento de las altas temperaturas de producción permite optimizar el uso de este recurso y disminuir costos en las tarifas?

### **1.3 Objetivos del proyecto**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Identificar técnicas basadas en cogeneración para la obtención de energía eléctrica en industrias ladrilleras de gran escala.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar las necesidades, condiciones y requerimientos eléctricos en ladrilleras de gran escala para determinar las técnicas de cogeneración que permitan obtener energía eléctrica a partir de altas temperaturas.
- Determinar los beneficios medioambientales que las industrias ladrilleras a gran escala aportarían a través de la implementación de la cogeneración para obtención de energía eléctrica.



## **1.4 Aportes del proyecto**

Con el presente documento se aporta al manejo responsable del factor energético al interior de las empresas ladrilleras, pues la cogeneración es una estrategia que permite no solamente disminuir los costos en el uso de energía y combustibles, sino que además se presenta como una importante contribución al medio ambiente valiéndose de diferentes técnicas o posibilidades para disminuir la emisión de gases y el exceso de utilización de energía eléctrica.

## **1.5 Estructura del documento**

Este documento está dividido en seis capítulos, en los cuales se hace inicialmente una presentación de las empresas nacionales que han implementado dentro de sus procesos la cogeneración como manera de autosuficiencia en la producción y uso de energía eléctrica; así como se hace mención de acuerdos, normas, leyes o decretos inherentes al uso eficiente de la energía o el calentamiento global a los cuales todas las empresas deben dar fiel cumplimiento. Por otra parte, en el primer capítulo se determinan el problema, objetivos y aportes de este trabajo.

El capítulo dos hace referencia a la industria de ladrillos en Colombia, las características más comunes en el ladrillo, el proceso productivo y la presentación de las máquinas más utilizadas en el proceso.

Además, en el tercer capítulo está relacionado con la cogeneración, su significado, aplicaciones, maneras de conseguirla y cómo juegan un papel fundamental para lograr los objetivos propuestos.

Luego de haber conocido las generalidades tanto de la industria de los ladrillos como de la cogeneración se realiza un acercamiento a la identificación de las técnicas que más se ajustan al interior de la industria en estudio. Lo anterior se podrá conocer en el cuarto capítulo.

Posterior a la secuencia seguida, en el capítulo quinto se determina el uso eficiente de la energía que a través de las técnicas identificadas se puede obtener en las industrias ladrilleras a gran escala.

Las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros son los aspectos que conforman el sexto capítulo.

## **2. LA INDUSTRIA LADRILLERA EN COLOMBIA**

En 2011, el Programa de Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales de Colombia, en su publicación “Caracterización de las Unidades Productivas de la Industria Ladrillera”; describió las características más significativas de las unidades productivas de la industria ladrillera en Colombia, en donde se distinguen: Microempresa o Chircal, Pequeña empresa, Mediana industria y gran industria o a gran escala, de donde se puede extraer que las últimas tienen un alto grado tecnológico y se sigue una secuencia planeada y tecnificada; durante el proceso se automatizan las fases de homogenización, molienda y secado, además la movilización y empaque se realiza de manera mecanizada.

Es importante para conocer los detalles de esta industria, presentar algunos aspectos generales del ladrillo, el proceso productivo, la maquinaria y equipo utilizado a gran escala.

### **2.1 El ladrillo**

El ladrillo se puede definir como pequeñas piezas cerámicas, con forma de paralelepípedo, está hecho con tierras arcillosas que son moldeadas, comprimidas y sometidas a cocción por medio de temperaturas muy altas, comprendidas entre 900 y 1000 °C (Angiolani, 1960).

Por otra parte, el ladrillo industrial es fabricado en grandes cantidades, muy utilizado en el mercado de la construcción; por lo cual existen tres clases que sobresalen y se describen a continuación: ladrillo de fachada, el cual es utilizado en los exteriores y se utiliza cuando lo que se quiere destacar es el aspecto; el ladrillo común es el más utilizado para interiores y levantar paredes, está hecho en arcilla de no muy alta calidad; y el ladrillo refractario, el cual resiste temperaturas altas y es muy utilizado para la construcción de hornos y chimeneas.

De manera general, se busca que los ladrillos sean sólidos, resistentes, de color uniforme, que no tengan fisuras y que sea fácil su corte por medio de un golpe; además, que no estén sobre-horneados o poco horneados y por lo tanto blandos.

### **2.2 Proceso productivo en la elaboración de ladrillos**

El proceso productivo de las industrias ladrilleras en términos generales está constituido por las siguientes etapas:

**Extracción:** proceso por el cual es obtenida la arcilla como materia prima para la elaboración de los productos. Se ubica de esta forma como el principio de la cadena productiva que a la vez opera como proveedor del proceso de transformación mediante el suministro del material adecuado para las distintas referencias de productos.

**Transformación:** En este proceso la materia prima es sometida por las siguientes actividades: molienda, humectación, compactación, extrusión y corte. Para obtener así una referencia específica del producto en proceso.

**Secado:** En este punto del proceso productivo, se busca que el producto pierda humedad por efecto de calor suministrado de forma artificial, o de forma natural. De aquí se desprende el nombre de los dos tipos de secado implementados en este proceso: secado natural y secado artificial.

El tiempo de secado puede tener variaciones de acuerdo con el tipo de producto en proceso, y el porcentaje de humedad que se pierde oscila entre el 15 y 18%. En la etapa de secado el total de energía térmica requerida es de 707350.28 kJ/Ton, en donde el 36% (254646.100 kJ/Ton) es utilizada para evaporar el agua; el 37% (261719.603 kJ/Ton) sale en los gases de chimenea y el restante 27% (190984.575 kJ/Ton) son pérdidas (RITL, 2015).

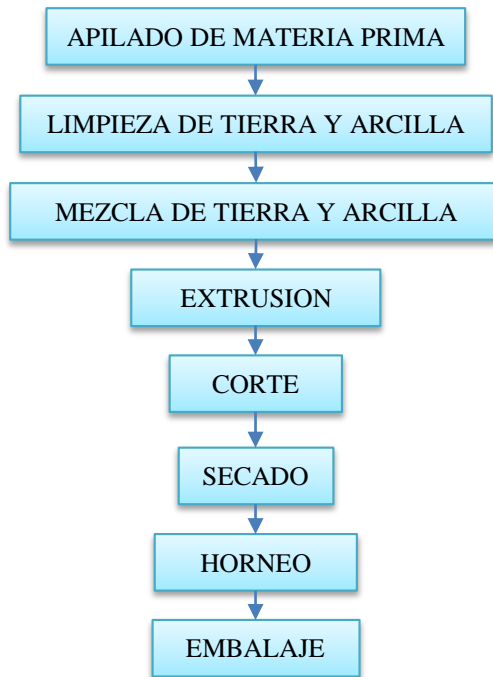
**Quema u horneado:** El producto seco es transportado hasta el horno, implementado específicamente para realizar la quema del producto. La acción del aire y el carbón suministrado por las máquinas, eleva la temperatura hasta unos 950 °C, lo cual permite obtener el producto final deseado.

En la etapa de cocción en el horno Hoffman la energía requerida es de 1473472 kJ/Ton, en donde el 31.5% (464143.68 kJ/Ton) salen en los gases de chimenea; el 27% (397837.44 kJ/Ton) es usada para calentar aire que será utilizado en la etapa de secado; el 12.7% (187130.944 kJ/Ton) es consumido en las reacciones y el restante 28.8% (424359.9369 kJ/Ton) son pérdidas (RITL, 2015).

**Despacho:** Es la última etapa del proceso, es aquí donde el producto es retirado del horno y ubicado para su posterior transporte, hasta el cliente final.

En la Figura 1 se presentan las fases del proceso productivo resumido en un diagrama con el fin de visualizar de manera más rápida y práctica la secuencia que se mencionó anteriormente.

Figura 1. Proceso productivo.



Fuente: Elaboración propia.

Todas las etapas descritas anteriormente pueden ser resumidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Demanda de energía eléctrica y térmica en el proceso de fabricación de ladrillos, baldosas y tejas de arcilla.

PROCESO	kWh/Ton Producto	kJ/Ton Producto
<b>Energía Eléctrica</b>		
Preparación y trituración	7.331	26391.6
Molienda	10.47	37692
Amasado	10.40	37680
Extrusión	24.09	86724
<b>Energía Térmica</b>		
Secado		707350.28
Cocción		1473472

Fuente: Tomada de (RITL, 2015).

### 2.2.1 Relación del proceso productivo vs maquinaria y equipo utilizado

En Colombia las grandes industrias ladrilleras tienen más de la mitad de la producción total de ladrillo, esto se ha obtenido gracias a las máquinas y los equipos utilizados que además de proveer mayor cantidad de producto, también lo logra en menor tiempo. Por lo anterior, se

trata de presentar las máquinas más utilizadas en la mayoría de las fases del proceso productivo, con el fin de conocer más acerca de sus características y posteriormente facilitar la detección de los puntos en los cuales se pudiese hacer un uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

En la *extracción* el método más utilizado es el de cielo abierto, en las empresas a gran escala es de mucha utilidad el uso de las retroexcavadoras.

Para la *preparación*, en las que se incluyen la molienda, la mezcla, el moldeo y el corte, la maquinaria utilizada es la que se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Tecnología utilizada en la preparación.

<b>EQUIPO</b>	<b>FASE DEL PROCESO</b>
Desintegradores	MOLIENDA
Molinos de Martillos	
Rompe terrones	
Tolvas	
Trituradoras de Mandíbula	
Zarandas	
Laminadores	MEZCLA
Mezcladoras	
Prensas	
Cortadoras	CORTE
Extrusoras al vacío	MOLDEO
Gaberas	
Hechizas	
Rodillo - Extrusoras	

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente el *secado*, aunque en esta fase no predomina la utilización de máquinas, suele realizarse además del secado natural, el realizado a través de cámaras y por medio de túneles. Generalmente, en las ladrilleras a gran escala se utiliza un secado que combina las tres mencionadas anteriormente.

Como lo presenta el documento de UPME y COLCIENCIAS denominado “Ahorro de Energía en la Industria Cerámica”, el secado de una pieza cerámica de cualquier tipo transcurre en dos fases:

- Eliminación del agua de mojado a velocidad constante manteniéndose húmeda la superficie de la pieza.
- La velocidad de eliminación del agua decrece manteniéndose seca la superficie de la pieza.

En cuanto a la *cocción* se refiere, la industria utiliza en gran medida hornos intermitentes y continuos, a través de la siguiente lista se mencionan diferentes tipos de hornos a tener en cuenta: Árabe, Baúl, Colmena, Hoffman, Rodillos, Semicontinuo, Túnel, Vagón y Zigzag.

En la industria ladrillera cabe resaltar y profundizar acerca de las particularidades de los hornos tipo túnel y el Hoffman, por ser los más implementados en el país.

El horno Túnel (Figura 2), es aquel que está formado por una zona de fuego fija, mientras el material se desplaza. Dentro de éste hay tres zonas: de precalentamiento, de cocción y de enfriamiento.

En el horno Hoffman (Figura 3), el material a quemar se mantiene estático y el fuego se desplaza a través de las cámaras unidas. Los quemadores que a su vez utilizan combustibles como: carbón, gas natural, fuel oil, orujillo, entre otros; pueden ser de impulsos, laterales de precalentamiento y gasificación.

Figura 2. Horno tipo Túnel.



Fuente: (Alibaba, 2015).

Figura 3. Horno Hoffman.



Fuente: (Globered, 2015).

De acuerdo a (Globered, 2015), ambos hornos utilizan los mismos combustibles y tienen capacidades de producción similares.

### **3. GENERALIDADES DE LA COGENERACIÓN DE ENERGÍA**

La cogeneración es un concepto que en el mundo entero ha sido ampliamente difundido con el fin de que las empresas, instituciones o países sean capaces de generar energía eléctrica de una manera más eficiente, aprovechando en sí aquellos procesos desperdiciados actualmente y que en la teoría se sabe que son capaces de autogenerar energía; todo lo anterior con el fin de aportar a la disminución en el gasto de energía eléctrica y por ende en su gran mayoría al consumo de agua.

Con el fin de conseguir que la industria ladrillera contribuya también a los propósitos generales de aporte ecológico, es significativo conocer acerca de la cogeneración, los principales sistemas de cogeneración existentes, de la cogeneración como una alternativa para mejorar los procesos de generación, cómo se encuentra a nivel nacional el potencial de cogeneración y otros aspectos relacionados.

#### **3.1 Cogeneración**

Según (Aranguren & Leal, 2012), la cogeneración es la autogeneración de energía eléctrica y el aprovechamiento de la energía térmica resultante de dicha generación; esta cogeneración se lleva a cabo por medio de un equipo, que trabaja con un combustible. Por otra parte, la cogeneración es una tecnología ampliamente desarrollada en el mundo e implementada fuertemente en las industrias. Es de resaltar que la energía térmica se recupera por medio de los vapores expulsados por el escape de las máquinas, que proporcionan beneficios ecológicos al cambiar por recuperadores del desperdicio de energía.

En términos generales las empresas o industrias que realizan cogeneración pueden tener los siguientes beneficios:

- Cumplimiento de la normatividad ambiental.
- Disminución de la factura energética, en donde se tiene en cuenta los costos por electricidad y combustible.
- Incremento de competitividad por reducción de costos de producción.
- Mayor eficiencia y confiabilidad.
- Mejor calidad de energía (de acuerdo al proceso).



En la cogeneración es importante determinar los rendimientos de dicho proceso, los cuales se exponen a continuación:

Por un lado se determina el rendimiento eléctrico propio de las centrales de producción de electricidad, como se presenta en la ecuación (3.1):

$$n_e = \frac{E}{Q} \quad (3.1)$$

Dónde:  $n_e$  = Rendimiento eléctrico.

$E$  = Energía eléctrica generada en un periodo [kWh].

$Q$  = Combustible consumido por la empresa [kWh].

En empresas con cogeneración no solo es importante el anterior rendimiento, es vital determinar el rendimiento global, como se muestra en la ecuación (3.2):

$$n_g = \frac{V + E}{Q} \quad (3.2)$$

Dónde:  $n_g$  = Rendimiento global.

$V$  = Calor útil producido en un periodo [kWh].

## **3.2 Principales sistemas de cogeneración**

Dentro de los principales sistemas de cogeneración utilizados, se encuentran: cogeneración con turbinas de vapor, con turbinas de gas, con ciclo combinado y con motor alternativo. Algunos de estos sistemas son presentados con mayor detalle en el capítulo 4.

### **3.2.1 Cogeneración con turbinas de vapor**

La energía mecánica es producida en una turbina, acoplada a un generador eléctrico, a través de la expansión de vapor de alta presión generado en una caldera convencional.

### **3.2.2 Cogeneración con turbinas de gas**

En este sistema un compresor alimenta a una cámara de combustión de aire a alta presión, al quemarse genera gases a alta temperatura y presión, los cuales alimentan una turbina

generando energía mecánica que se transforma en energía eléctrica por medio de un generador acoplado a la turbina.

### **3.2.3 Cogeneración con ciclo combinado**

En este sistema se emplea una turbina de gas y una de vapor; los gases de la turbina de gas se emplean para producir vapor a alta presión a través de una caldera de recuperación y luego alimentar una turbina de vapor.

### **3.2.4 Cogeneración con motor alternativo**

El motor alternativo es recomendado en empresas que pueden generar desde 15kW hasta los 5 MW de potencia eléctrica, los gases residuales son a baja temperatura, en algunos procesos adaptables puede dar una eficiencia de cogeneración similar a las de turbina a gas.

## **3.3 La cogeneración: una alternativa para mejorar los procesos de generación de electricidad**

La Cogeneración es reconocida como una de las principales alternativas para usar racionalmente la energía, lo cual no solo toca aspectos de eficiencia energética sino que se convierte en una forma estratégica de generación distribuida, que alivia las presiones sobre la red de transmisión y coadyuvan a alejar el fantasma del racionamiento.

Por otra parte, como guía es importante estudiar los diseños de esquemas de desarrollo de proyectos de cogeneración por parte de terceros; los proyectos de cogeneración en parques industriales que permitan optimizar los ciclos térmicos y aprovechar las economías de escala, pueden construir una alternativa atractiva para los inversionistas privados.

## **3.4 La cogeneración como alternativa energética sostenible**

Gracias a la necesidad de mejorar la eficiencia energética en la industria, se han creado convenios entre la ANDI (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia) y la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) para promover proyectos con relación al sector energético a nivel de estudio y financiación, lo cual es una gran herramienta para especialistas en climatización global, ya que es una ayuda al plantear nuevos proyectos con buenos resultados económicos.

La ANDI está promoviendo en el país fuertemente la industria de la cogeneración como una alternativa viable, esto es de gran importancia para que los empresarios tomen conciencia de las grandes ventajas que ofrece dicha tecnología. Con la Cogeneración se aprovecha la energía térmica sobrante del proceso en la generación de energía eléctrica, conllevando a una mejor utilización de los recursos energéticos y en consecuencia mejorando notablemente la eficiencia de los procesos productivos de la industria.

Se debe tener en cuenta que la cogeneración no solo beneficia a los empresarios para ahorrar dinero en cuanto a sus gastos energéticos, sino que además tiene un gran beneficio sobre el medio ambiente, ya que se reducen los gases, las emisiones producidas por los generadores térmicos y disminuye la temperatura de salida de sus chimeneas.

### **3.5 Nivel nacional de potencial de cogeneración**

La cogeneración permite la producción simultánea de energía eléctrica y energía térmica útil. Un proyecto de cogeneración reporta beneficios a los industriales por ahorros en compras de electricidad y mejora la confiabilidad del suministro de energía eléctrica. Así mismo, significa un mejor uso de los combustibles, dada la alta eficiencia de los sistemas de cogeneración y se aprovecha la energía térmica para climatización.

La UPME realizó un estudio para el desarrollo de una metodología de estimación del potencial de cogeneración en Colombia. Con base en esta metodología y la realización de encuestas se determinó un potencial de cogeneración de 423 MW para todo el país (UPME, 2014).

## 4. IDENTIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE COGENERACIÓN EN LA INDUSTRIA LADRILLERA A GRAN ESCALA

En el presente capítulo se detallan los aspectos más significativos de las técnicas de cogeneración a nivel industrial, encontrando como elementos de importancia a los motores de combustión, las máquinas diésel, las turbinas de gas o vapor.

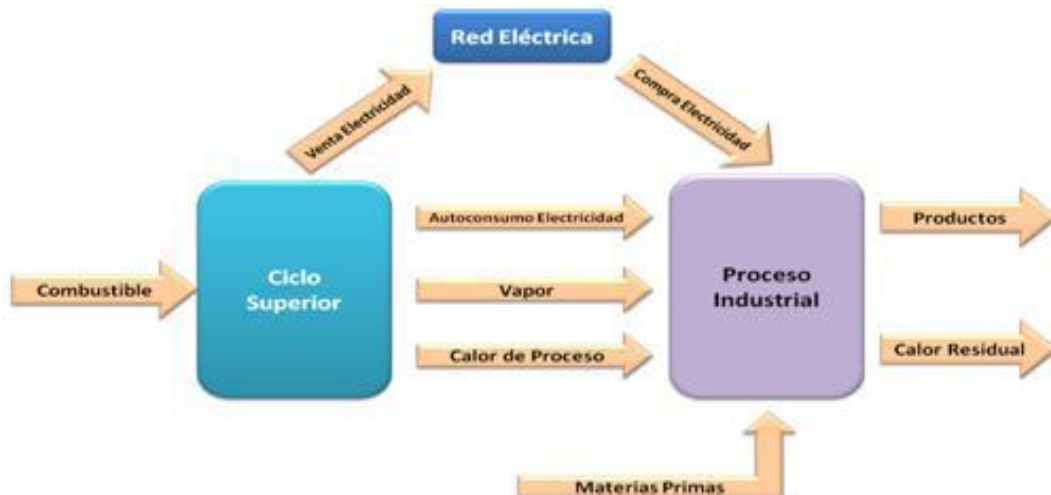
### 4.1 Esquemas de cogeneración

Desde el punto de vista de las instalaciones existen los esquemas de cogeneración descritos a continuación:

#### 4.1.1 Sistema de cogeneración de ciclo de cabecera

También llamado *topping system* o ciclo superior; es utilizado en procesos industriales como: calefacción. Son bajos los requerimientos de temperaturas por parte de estos procesos. Es el más adoptado por la industria. Se muestra en la Figura 4 el sistema de cogeneración de ciclo de cabecera.

Figura 4. Sistema de cogeneración ciclo de cabecera.

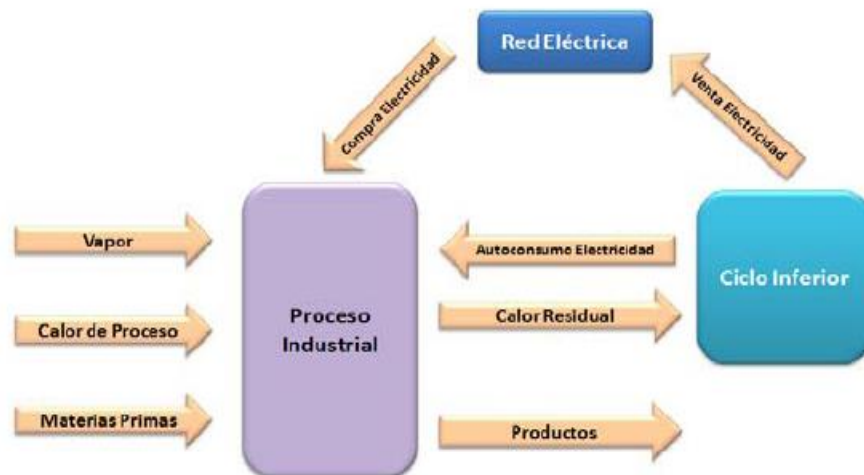


Fuente: (Díaz, 2009).

#### 4.1.2 Sistema de cogeneración de ciclo de cola

También se conoce como *bottoming system* o ciclo inferior. En este proceso se genera calor, se enfoca en recuperar el calor del proceso, con la ayuda de intercambiadores de calor se produce vapor en calderas, para que las turbinas generen energía eléctrica. El vapor debe tener temperaturas altas y medias, de igual manera la presión debe ser adecuada para generar electricidad. En la Figura 5 se presenta el sistema de cogeneración de cola.

Figura 5. Sistema de cogeneración ciclo de cola.



Fuente: (Díaz, 2009).

En hornos es muy utilizado, un caso particular es el de la minería. La energía eléctrica se puede utilizar en autoconsumo o vertida directamente a la red o una combinación de ambos modelos. En este esquema no es necesario un combustible adicional.

El sistema de cola es muy aplicable en la industria del ladrillo para las fases del secado y horneado, dado que se utilizan los vapores de la cocción con altas temperaturas que ponen en funcionamiento las turbinas para producción de electricidad.

#### 4.2 Sistemas básicos de cogeneración

Uno de los sistemas de cogeneración industrial más utilizado es la turbina de gas, el cual como equipo utiliza un motor principal y como combustible gas natural. Los gases de escape provenientes de la turbina se envían a una caldera de recuperación, en donde se utiliza la técnica de la poscombustión para ajustar la producción de calor útil a la demanda del proceso industrial. Como lo menciona el documento (UPME; COLCIENCIAS, 2015); “El sistema

alcanza elevados rendimientos globales (75-85%), con rendimientos eléctricos variables en función del tamaño de la instalación (20-35%)”.

Por otra parte, el motor de gas es el equipo más utilizado en la pequeña industria. Su rendimiento eléctrico se aproxima al 32%, y en esquemas de cogeneración logra rendimientos del 60 al 75%.

La mayoría de los sistemas de cogeneración usan como máquinas primarias turbinas de vapor, turbinas de gas, máquinas de combustión interna y paquetes de cogeneración.

En la Tabla 3, se presentan en términos generales, los datos de comportamientos para varios sistemas de cogeneración, entre los cuales se encuentran los de gas de combustión interna, las máquinas diésel, turbinas de gas y los ciclos con vapor.

Tabla 3. Datos de comportamientos para varios sistemas de cogeneración.

SISTEMAS	CAPACIDAD UNITARIA [kW]	RÉGIMEN TÉRMICO <sup>2</sup> [Btu/kWh]	EFICIENCIA TÉRMICA [%]	EFICIENCIA ELÉCTRICA [%]	EFICIENCIA TOTAL [%]	TEMP. ESCAPE [°F]	GENERACIÓN DE VAPOR [lb/h@125 Psig]
<b>Gas Comb. Interna (pequeña)</b>	1 – 500	10,000 – 25,000	52	14 - 34	66 – 86	600 – 1200	0 – 200 <sup>1</sup>
<b>Gas Comb. Interna (grande)</b>	500 – 17,000	9,500 – 13,000	52	26 - 36	78 – 88	600 – 1200	100 – 10,000 <sup>1</sup>
<b>Máquina Diésel</b>	100 – 1,000	11,000 – 15,000	44	23 - 31	67 – 75	700 – 1500	100 – 400 <sup>1</sup>
<b>Turbina de Gas Industrial</b>	800 – 10,000	11,000 – 14,000	50	24 - 31	74 – 81	800 – 1000	3,000 – 30,000
<b>Turbina de Gas CTE</b>	10,000 – 150,000	9,000 – 13,000	50	26 - 31	76 – 81	700	30,000 – 300,000
<b>Ciclos de Vapor</b>	5,000 – 100,000	10,000 – 30,000	28	7 - 34	35 - 62	350 - 1000	10,000 – 100,000

<sup>1</sup> Puede disponerse de 10 veces este flujo en agua a 250°F.

<sup>2</sup> El régimen térmico es el calor de entrada al ciclo por kWh de entrega eléctrica. La eficiencia de generación eléctrica en porcentaje de una máquina primaria puede determinarse de su régimen térmico de esta manera: Eficiencia= (3,413/ Régimen Térmico) x 100%.

Fuente: (UPME; COLCIENCIAS, 2015).

#### 4.2.1 Tecnologías de cogeneración

Dentro de las tecnologías de cogeneración más aplicadas a nivel industrial se resaltan: turbina de vapor y turbinas de gas, de igual manera existen y se presentan otras tecnologías como: motor de combustión interna y celdas de combustión.

#### 4.2.1.1 Turbina de vapor

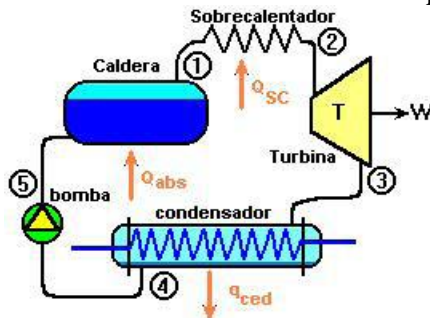
Requieren de una fuente de vapor de alta presión con ayuda de calderas o intercambiadores de calor. Los combustibles pueden ser carbón, petróleo y gas natural, como también biomasa o residuos urbanos, dado que el combustible no acciona directamente la turbina.

Operan mediante el ciclo termodinámico de Rankine, ciclo aplicado en centrales convencionales con una fuente de calor como calderas, que convierte agua en vapor de alta presión. En este tipo de tecnología; el vapor fluye a través de la turbina produciendo potencia mecánica y luego eléctrica. El vapor utilizado en excitar la turbina es condensado y devuelto a la caldera para repetir el proceso. Se presentan dos tipos de turbinas:

- **Turbina de contrapresión.** La presión del vapor a la salida de la turbina es mayor que la atmosférica, por lo cual no es necesario condensar el vapor para cerrar el ciclo, su rendimiento es bajo. Se utilizan cuando se requiere obtener vapor. Tienen aplicabilidad en pequeñas industrias y su eficiencia puede estar entre el 15 y el 30%.
- **Turbina de condensación.** En esta turbina la presión de vapor de salida es menor a la atmosférica. Se utilizan solo para obtener agua caliente. Son las grandes industrias en su mayoría las que utilizan este tipo de turbinas y pueden presentar eficiencias entre el 40% y 45%.

En cuanto a su diseño, son adaptables de acuerdo a los requerimientos de presión y temperatura. Pueden operar en rangos de presión de vapor desde menores a los atmosféricos a supercríticos mayores y se pueden ajustar a los requerimientos térmicos de las aplicaciones. En la Figura 6, se presenta el esquema de funcionamiento de una turbina de vapor.

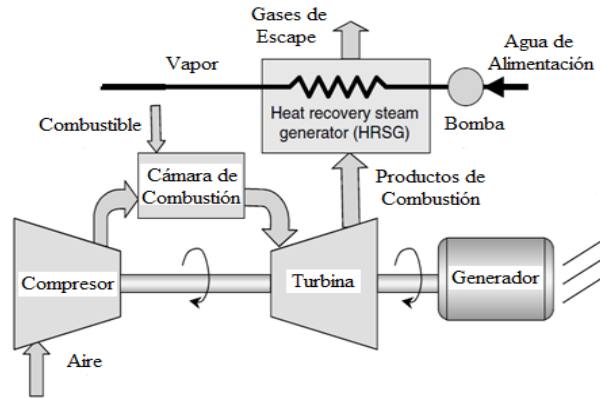
Figura 6. Esquema de funcionamiento de una turbina de vapor.



Fuente: (Díaz, 2009).

Por su parte, la Figura 7 muestra el esquema donde el intercambiador de calor recibe el nombre de **generador de vapor por recuperación de calor** o HRSG (por sus siglas en inglés).

Figura 7. Esquema con HRSG.



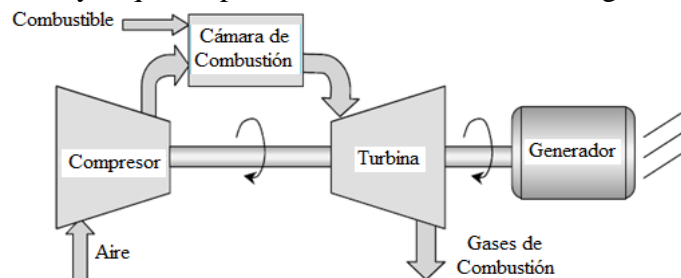
Fuente: (Quispe, 2010).

Son las turbinas de vapor las que más favorecen a la industria ladrillera en la producción de energía eléctrica, ya que se utilizan los vapores en desperdicio obtenidos particularmente del horno.

#### 4.2.1.2 Turbina de gas

Operan a través del ciclo termodinámico de Brayton, en el que se hace pasar el aire de la atmósfera y el fluido de trabajo por la turbina solo una vez. La eficiencia térmica depende de la presión, la temperatura del aire atmosférico, la eficiencia del compresor y la turbina (como se presenta en la Tabla 3). En la Figura 8 se presentan los componentes y el esquema general para un sistema de turbina de gas.

Figura 8. Componentes y esquema para un sistema de turbina de gas.



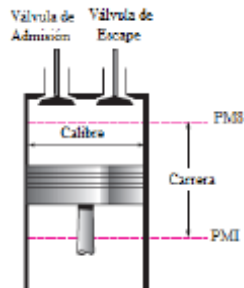
Fuente: (Quispe, 2010).



### 4.2.1.3 Motor de combustión interna alternativo

A los motores de combustión interna se les conoce como motores térmicos alternativos o como máquinas de desplazamiento positivo. Su esquema se presenta en la Figura 9. Los componentes básicos de un motor alternativo son el émbolo, cilindros, válvulas de admisión y escape. Pueden ser de dos tipos: los de encendido por chispa (ECH) y los de encendido por compresión (EC).

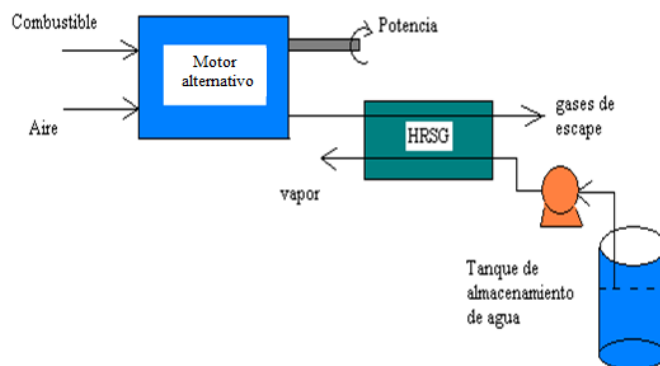
Figura 9. Esquema de motor de combustión interna.



Fuente: (Cengel & Boles, 2006).

Para utilizar en cogeneración este sistema, se debe colocar un HRSG a la salida del motor, para que los gases de escape o productos de combustión que salen a temperaturas relativamente altas, puedan ceder calor al agua bombeada desde un tanque de almacenamiento y convertirla luego en vapor. Su esquema viene representado en la Figura 10.

Figura 10. Esquema de sistema de cogeneración con motor.



Fuente: (Quispe, 2010).

Su rendimiento térmico se encuentra entre 40 y 55% y tienen amplios rangos de potencia por la variedad de motores. Se pueden trabajar con combustibles como diésel o gas natural. La

eficiencia eléctrica puede ir desde un 25% a un 50%. Los ciclos utilizados para la generación mediante motores son: el ciclo de Otto y el ciclo Diésel. Los dos ciclos usan una cámara de combustión cilíndrica, en la que unos pistones se mueven a través de ella. Los pistones están conectados a un cigüeñal que transforma el movimiento lineal en uno rotatorio.

Para la recuperación de calor, la energía del combustible se libera en la combustión, que se convierte en trabajo mecánico sobre un eje en el generador y otra parte se traduce en calor que se libera a través del refrigerante del motor o camisa húmeda, los gases de escape y la radiación de la superficie de la estructura.

#### **4.2.1.4 Celdas de combustible**

El principio es similar al de una batería. Requiere de combustible para que la energía se presente en forma de electricidad y calor. El combustible puede ser un gas rico en hidrógeno obtenido a partir de carbón o petróleo, y un oxidante, como el oxígeno atmosférico, no presentan ningún ciclo de combustión.

La energía generada por una sección de celdas de combustible es corriente continua, por lo que se debe convertir en corriente alterna con la ayuda de un transformador de energía. Un sistema convencional de celda de combustible consta de tres secciones importantes:

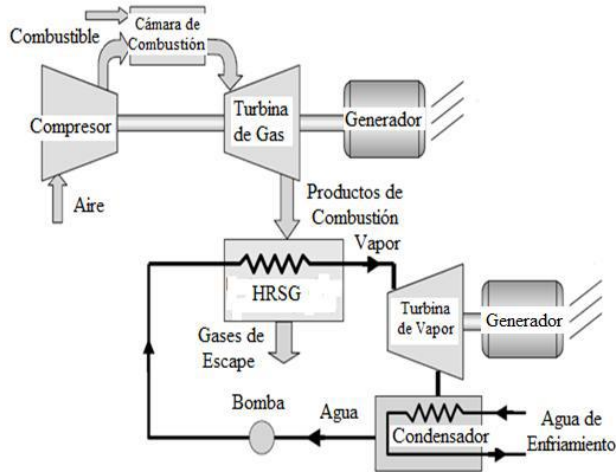
- Procesador de combustible o reformador.
- Pila de la celda de combustible (es el corazón del sistema).
- Inversor DC/AC.

En la celda se produce gran cantidad de calor que se utiliza para producir vapor y convertirlo en energía eléctrica, mediante el uso de una turbina. Hay diferentes tipos de celdas de combustible: alcalinas, ácido fosfórico, polímero sólido o membrana de intercambio protónico, carbonato fundido, óxido sólido, metanol directo y regenerativas.

#### **4.2.1.5 Ciclos combinados**

Son sistemas que utilizan turbina de gas y de vapor. Operan de tal manera que el HRSG (generador de calor por recuperación de calor) de la turbina de gas, cumpla la función de una caldera en un ciclo de vapor. Cada turbina aporta una parte, de acuerdo a su funcionalidad. El esquema de acoplamiento de los dos sistemas se encuentra en la Figura 11. El ciclo combinado se puede llevar a cabo gracias a que los ciclos simples trabajan en distintos rangos de temperatura y permiten operar al generador de vapor.

Figura 11. Esquema de ciclo combinado.



Fuente: (Quispe, 2010).

Este sistema de cogeneración, reúne a ciclos simples y aumenta el rendimiento termodinámico, dado que con la misma cantidad de combustible se produce vapor y energía eléctrica en dos generadores. La eficiencia térmica de esta combinación supera el 50%. Además, puede alcanzar potencias de salida de unos cientos de MW.

#### 4.2.1.6 Centrales cogeneradoras

Se puede producir simultáneamente energía eléctrica y calor, este último se recupera en agua caliente o en vapor, que se utiliza en el proceso o en calefacción. El vapor se puede conducir de la caldera al usuario o a una turbina de vapor en donde se expande con el objeto de aumentar la cantidad de electricidad generada.

Existen dos sistemas de cogeneración en centrales y consisten en:

- Una turbina de gas y una caldera de recuperación con postcombustión o sin ella. Tiene alta eficiencia térmica, la turbina de gas es la encargada de producir energía eléctrica. La eficiencia depende de las pérdidas de calor a la salida de la caldera; es decir que la temperatura del gas de escape está influida por: El contenido de azufre del combustible empleado, la temperatura del agua de alimentación de la caldera y la presión del vapor que se intenta generar.
- Una turbina de gas, una caldera de recuperación y una turbina de vapor. En estas centrales los elementos utilizados son:

- Una caldera con o sin poscombustión y uno o dos niveles de presión.
- Una turbina de vapor, que puede ser: de contrapresión con posiblemente una extracción, de acuerdo al vapor requerido y de extracción y condensación.

Para cada uno de los casos de la Tabla 4 se presentan los componentes.

Tabla 4. Componentes en centrales cogeneradoras.

<b>TURBINA DE GAS</b>	<b>TURBINA DE VAPOR</b>
- De un solo combustible o múltiples	- De contrapresión
- Una derivación gases de escape	- De extracción y condensación
<b>CALDERA</b>	
- Post-combustión	
- Ventilador de tiro inducido o forzado como refuerzo (con postcombustión)	
- Uno, dos o tres niveles de presión, según las necesidades de usuarios de vapor.	

Fuente: Elaboración propia.

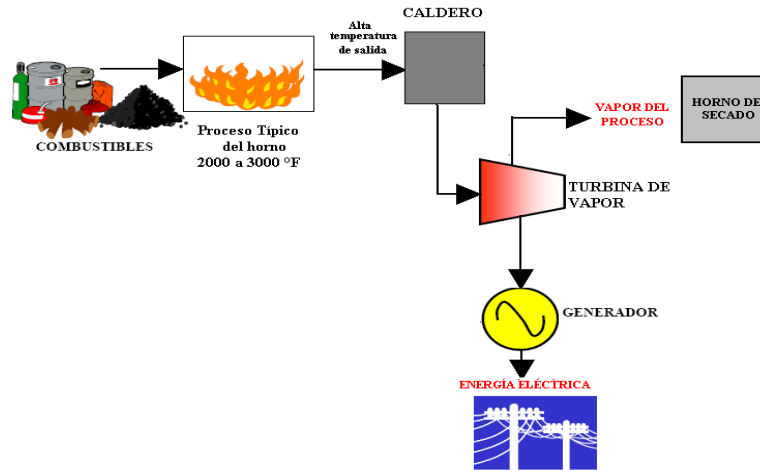
### 4.3 Sistema de cogeneración utilizado para la fabricación de ladrillo

De acuerdo a los diferentes tipos de técnicas o tecnologías de cogeneración, se puede decir que el sistema de cogeneración que una empresa de ladrillo a gran escala puede utilizar en sus procesos es del **tipo de cola**, puesto que algunas fases del proceso productivo son de tipo térmica como en el horno, donde se tienen temperaturas de salida o calor residual alrededor de los 900 °C.

En este sistema se puede aprovechar el vapor del proceso, llevando los ladrillos a los hornos para su correspondiente secado. También se puede determinar que la parte térmica es aprovechada en el horno de cocción con temperaturas altas (próximas a 1000 °C); en el secado que requiere del orden de 100 °C y en el pre-horneado de 150 a 200 °C.

En la Figura 12 se presenta el sistema de cogeneración para el caso específico de la industria ladrillera. En donde los combustibles ingresan al horno que mantiene temperaturas superiores a 1000 °C y a su vez liberan temperaturas altas, que posteriormente ingresan a la caldera para obtener los vapores que luego llegarán a la turbina de vapor encargada de ayudar a generar energía eléctrica o que también ayuda a circular los vapores necesarios para el proceso de secado.

Figura 12. Sistema de cogeneración en la industria ladrillera.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe notar que de acuerdo a (UPME; COLCIENCIAS, 2013), la industria obtiene su ventaja económica en el sistema de cogeneración con el margen resultante de restar a la factura eléctrica evitada el incremento de factura por combustible, también el precio unitario eléctrico convencional facturado puede representar hasta cinco veces el precio unitario del combustible. Además se encuentra que según un estudio realizado por la IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), relativo al potencial tecnológico de cogeneración existente a la fecha del estudio en España, se deduce que en promedio los sistemas de cogeneración requieren la mitad de las unidades térmicas por unidad eléctrica producida que los sistemas de generación térmica convencionales.

“La cogeneración se revela hoy no solamente como la inversión estratégica que permitirá a algunas industrias afrontar con garantías el desafío inherente a unos mercados cada día más competitivos, sino también como un sistema idóneo para el uso racional y limpio de la energía. La vulnerabilidad del sistema de abastecimiento energético de los países industrializados, puesta de manifiesto en la crisis actual, será menor fomentando las medidas de ahorro y diversificación. La cogeneración se presenta doblemente adecuada a este respecto por ahorro de energía primaria y porque su implantación supone, en la mayoría de los casos, la sustitución de combustibles derivados del petróleo o por gas natural” (UPME; COLCIENCIAS, 2013).

## 5. USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN LA INDUSTRIA LADRILLERA

La industria ladrillera, consume cerca de un 2% de energía del total del sector industrial. Dado que utiliza una gran variedad de maquinaria y equipos de uso eléctrico como: hornos y secadores, y emplea una variedad de energéticos en donde se encuentran: energía eléctrica, carbón, gas y líquidos como el *fuel oil* o combustóleo, el crudo de Castilla y en algunas ocasiones ACPM. Por otra parte, el consumo de energía eléctrica puede tener lugar en casi la totalidad de las operaciones al interior de la planta.

En las empresas de este sector industrial se han aplicado para el aprovechamiento de calores residuales las siguientes posibilidades:

- Recirculación de aire en secaderos. Se transfiere calor desde la salida de gases del secadero hacia la entrada de aire al mismo.
- Utilización del aire caliente de horno en secaderos.
- Recuperación del aire de enfriamiento en hornos. Con sistemas de circulación de gases de intercambio de calor para aprovechar el calor residual que se pierde en los gases de escape del horno de cocción.

Por otra parte, en el sector cerámico existen quemadores y técnicas de combustión que permiten obtener ahorros energéticos, siendo estos: quemadores de alta velocidad, quemadores autorrecuperadores y combustión a impulsos. Como también el cambiar el combustible dependiendo de las necesidades de cada empresa.

En general en la industria ladrillera, los equipos susceptibles de ser mejorados con medidas de recuperación de calor residual son: Hornos, calderas, secaderos y las instalaciones de cogeneración. El calor residual se puede aprovechar fundamentalmente a través de la recuperación del mismo en los gases de combustión de la caldera; dado que los gases de combustión salen muy calientes y es aprovechable su uso.

En la industria ladrillera existen diversas maneras de hacer un uso eficiente de la energía, en las que se tienen en cuenta: el amasado con vapor, la cocción con hornos continuos, la recuperación del calor sensible de los humos del horno y el secado del ladrillo aprovechando la energía liberada en el horno.

### **5.1 Amasado con vapor para arcillas muy plásticas**

En el amasado con vapor para arcillas muy plásticas se busca cambiar el uso de agua por vapor a baja presión y lograr una muy buena plasticidad en la arcilla, por lo tanto se reduce el agua en el producto a secar posteriormente, lo cual conlleva a un ahorro energético.

### **5.2 Cocción con hornos continuos**

El horno tipo túnel por análisis de la eficiencia térmica (kcal/Ton) y consumo de combustible de los hornos industriales, es el que revela los mayores índices. La utilización de hornos continuos en la industria del ladrillo, logran mejores eficiencias, rendimientos y menor impacto al ambiente, dado que la masa del mismo permanece caliente, no se requiere recalentar y por ende la utilización de menos combustible. Por su forma, dan un ahorro de calorías en el enfriamiento y precalentamiento del horno y mayor rapidez en la etapa de cocción.

Las características importantes de estos hornos en la industria ladrillera son:

- Las llamas y los gases de combustión pasan por la zona de caldeo transfiriendo su energía antes de escapar a la atmósfera.
- El aire y los gases de combustión circulan en sentido inverso al de los ladrillos.
- El aire que entra por la boca de descarga del horno se calienta progresivamente en contacto con las piezas cocidas en su fase de enfriamiento.
- El aire llega a la zona de quema a una temperatura elevada, favoreciendo la combustión.
- El aire caliente es utilizado en el secadero tipo túnel para secar el material.

### **5.3 Recuperación del calor sensible de los humos de hornos**

En los hornos se producen gases de combustión con un nivel de energía, por lo que esta energía liberada se puede recuperar para ser utilizada en otras etapas del proceso. El calor residual de los hornos de cocción en las industrias ladrilleras puede aprovecharse en la etapa de precalentamiento del producto, si es que el horno cuenta con este espacio; en el secadero o también en precalentamiento del aire de combustión.

El ahorro de energía para el aprovechamiento de los gases del horno está entre el 2 y el 6% del consumo global del horno y del 1 - al 5% del consumo global del horno en la recuperación del calor residual.

#### **5.4 Secado del ladrillo aprovechando la energía liberada en el horno**

El secado del ladrillo donde se aprovecha la energía liberada por el horno, consiste en aprovechar el calor generado por la combustión del combustible en el horno, para calentar una corriente de aire que es incorporada en el secadero para realizar el secado del material hasta los 170°C. Donde se consigue disminuir el consumo de combustible y por ende reducir la descarga de gases de combustión a la atmósfera.

El sistema consiste en llevar desde el horno parte de la energía (cerca del 40%) requerida para el secado del material, aprovechando la energía de combustión para calentar una corriente de aire y el resto de la energía requerida es suministrada por el combustible. Lo cual se simplifica en capturar el calor producido por la combustión para aprovecharlo en el secado e inyectar carbón pulverizado en el material para la formación de los ladrillos.

#### **5.5 Beneficios medioambientales**

Aprovechar la energía calórica residual de los procesos de producción, para cogeneración y obtención de energía eléctrica, ayudaría a aliviar la generación en plantas lejanas lo cual indica una reducción de gases de efecto invernadero por generación, se contribuye con el ahorro de los recursos energéticos y calidad de vida la humanidad; cabe aclarar que al contribuir con la cogeneración se está beneficiando a todos los seres del planeta.

En Colombia a partir de la Ley 697 de 2001 que declara el uso racional y eficiente de la energía como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, por lo que se han gestado acciones importantes alrededor del tema energético. Los sectores económicos que han adoptado paulatinamente el modelo de la cogeneración en Colombia son: el papelerero, de alimentos, azucarero, farmacéutico, de materiales para la construcción (vidrios, cemento, cerámicos), metalúrgico y petroquímico.

Son destacables los esfuerzos de las directivas de más de 30 compañías en Colombia que han optado por aplicar en sus procesos industriales la cogeneración, es decir, utilizar los vapores o gases de la combustión como fuente para producir parte de la energía que consumen, entre



esas compañías se destacan: Codegas S.A. E.S.P., Pastas Doria, Empacor, Corona, Monómeros, Cervecería Águila, Tecnoglass, Corpacero y Cartón Colombia.

La ANDI está promoviendo fuertemente en las industrias del país, la cogeneración como una alternativa viable. Esto es de gran importancia para que los empresarios tomen conciencia de las grandes ventajas que ofrece dicha tecnología. Con la cogeneración se aprovecha la energía térmica sobrante del proceso de producción para su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica, ocasionando con ello una mejor utilización de los recursos energéticos y en consecuencia mejorando notablemente la eficiencia de los procesos productivos de la industria. Se debe tener en cuenta que la cogeneración no solo beneficia a los empresarios para ahorrar dinero en cuanto a sus recursos energéticos, sino que además tiene un gran beneficio sobre el medio ambiente, ya que se genera a partir de los gases y las emisiones producidas por los generadores térmicos (López, 2011).

## **6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO**

### **6.1 Conclusiones generales**

En las industrias ladrilleras de gran escala, el uso de la técnica de cogeneración de energía denominada ciclo de cola es conveniente dado que su aplicación es relativamente sencilla, práctica y se puede dirigir a las fases del proceso donde hay más desperdicios de energía térmica.

Durante el proceso de cocción del material se produce el mayor desperdicio de energía térmica dados los rangos de temperatura que se generan en el interior de los hornos, por esta razón se deben focalizar en estos puntos las técnicas de cogeneración de energía. Por otra parte, con la implementación de técnicas de cogeneración en las industrias ladrilleras a gran escala, los gases de combustión y los vapores resultantes del proceso de cocción se aprovechan, por lo que se reducen las descargas contaminantes a la atmosfera, por ende es una práctica amigable con el ambiente.

Entonces los procesos de cogeneración de energía dentro de las empresas hacen que se reduzca el uso de electricidad de fuentes externas, lo que no solo disminuye el valor del consumo al interior de la empresa, sino que ahorra el uso de agua o combustibles fósiles que suelen utilizar dichas fuentes para la producción de electricidad.

### **6.2 Recomendaciones**

Antes de implementar técnicas de cogeneración de energía, cada empresa debe valorar cuál de ellas es la más aplicable de acuerdo con el volumen de su producción, tamaño y procesos tecnológicos asociados. En las empresas ladrilleras de gran escala es recomendable el uso de hornos de túnel por sus características técnicas.

Finalmente, cuando se analice la posible implementación de técnicas de cogeneración de energía al interior de una empresa ladrillera de gran escala, es importante cuantificar *in situ* el impacto ambiental, así como la relación costo-beneficio de la misma.

### **6.3 Trabajo futuro**

Un posible trabajo sería el determinar la rentabilidad de la implementación de cogeneración de energía eléctrica a partir de los hornos tipo túnel en las industrias ladrilleras a gran escala en Colombia.

De igual forma, establecer propuestas para implementar en los parques industriales el uso compartido de los productos energéticos residuales de acuerdo con las necesidades de las diferentes empresas del sector.

Partiendo de los aportes conceptuales de este trabajo se pueden establecer trabajos *in situ* donde se determine técnicamente la eficiencia de las técnicas de cogeneración de energía eléctrica en diferentes empresas de producción de ladrillos.

Por último, dentro de una empresa en particular se podría determinar técnicamente en todas las fases de producción otras posibles fuentes de aprovechamiento de energía residual a partir de técnicas de cogeneración presentadas en este trabajo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Alibaba. (2015). *Alibaba.com - Global trade starts here*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2015, de Maquinaria de fabricación de ladrillos: <http://spanish.alibaba.com>
- Angiolani, A. (1960). *Introducción a la química industrial: fundamentos químicos y tecnológicos*. Editorial Andres Bello.
- Aranguren, G., & Leal, L. (2012). *Estudio económico para la implementación de cogeneración en la planta de una empresa del sector alimenticio*. Bogotá D.C.: Trabajo de grado. Universidad de La Sabana. Obtenido de <http://repositorioslatinoamericanos.info/index.php/record/view/718619>
- Cengel, Y., & Boles, M. (2006). *Termodinámica (5 ed.)*. McGraw Hill.
- CREG. (26 de Septiembre de 2008). *Comisión Regulación de Energía y Gas*. Recuperado el 2014 de Noviembre de 2014, de <http://www.creg.gov.co/>
- Díaz, F. (2009). *Análisis Técnico Económico de Cogeneración para la Empresa Minera*. Santiago de Chile: Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Chile. Obtenido de <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/103476>
- Globered. (2015). *Golbered.com - Hornos Hoffman*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2015, de <http://hoffman.globered.com>
- Holguín Londoño, M. (2007). *Ingeniería del Mantenimiento*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Jose Miguel Mejia, H. A. (2012). *Estudio para la coordinacion de protecciones mediante selectividad logica para los centros de fuerza de la central Molino, presa Daniel Palacios y central Mazar de la empresa Celec Hidropaute*. Cuenca.
- Quispe, C. (2010). *Análisis energético de un sistema de cogeneración con ciclo combinado y gasificación para la industria azucarera*. Piura: Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Universidad de Piura. Obtenido de <http://pirhua.udep.edu.pe/handle/123456789/1387>

- RITL. (2015). *Red Interinstitucional de Tecnologías Limpias*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2015, de [http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/369102/369102\\_rn.htm](http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/369102/369102_rn.htm)
- UPME. (2014). *Plan de Expansión de Referencia Generación\_Transmisión 2014-2028*. Bogotá D.C.
- UPME; COLCIENCIAS. (2015). *Ahorro de energía en la industria cerámica*. Elaborado por: Universidad del Atlántico y Universidad Autónoma de Occidente. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/ceramica.pdf>
- Chapman, S. J. (Ed. 4). (2005). *Máquinas eléctricas*. Mc. Graw Hill
- Condori, M. y GEA, M. Utilización directa de los gases de combustión de un horno de cocción en el secado de ladrillos cerámicos. Universidad Nacional de Salta. [En línea], 2001[citado el 25 junio 2013]. [Argentina Salta]. Disponible en internet: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2001/2001-t006-a008.pdf>
- García, S. (2008). *Cogeneración: Diseño, operación y mantenimiento de plantas de cogeneración*. Editorial: Díaz Santos. pp.18.
- López, F. (2011). *Estado del arte de la Cogeneración en Colombia*. Universidad Antonio Nariño, Bogotá D.C., Colombia.
- Miranda, J. (2010). *Potencial de cogeneración en México y su posible desarrollo*. México. pp. 27 – 40.
- Oehl, David C. (2010). *Diseño y Modelaje de Planta de Cogeneración a Pequeña Escala. Estudio de Factibilidad*. MAVEN POWER.POWER GENERATION EXPERTS. 22p.
- Puyalto, P. *Introducción a las técnicas de cogeneración*. ACTA. pp. 81 – 86.
- Toro, M., Isaza, C., & Chejne, F. (2006). *Uso de las bombas de calor de alta temperatura como alternativa para el uso racional de energía en la industria*. *Producción + Limpia*, 1 (2), 18.
- UPME. (2001). *Determinación de la Eficiencia Energética del subsector industrial de ladrillo, vidrio y cerámica*. pp. 28.

[http://acaire.org/demo\\_2014/index.php/historia](http://acaire.org/demo_2014/index.php/historia)

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resolucion-2010-Creg005-2010>

Artículo Cogeneración La Cogeneración: Una Alternativa Para La Industria De La Climatización Y El Uso Racional De La Energía.

<http://www.incauca.com/content/Cogeneraci-n-de-Energ>

[http://lacogeneracion.blogspot.com/2009\\_07\\_01\\_archive.html](http://lacogeneracion.blogspot.com/2009_07_01_archive.html)

[http://www.larepublica.co/con-cogeneraci%C3%B3n-las-empresas-reducen-50-el-gasto-de-energ%C3%ADa\\_153511](http://www.larepublica.co/con-cogeneraci%C3%B3n-las-empresas-reducen-50-el-gasto-de-energ%C3%ADa_153511)

[http://www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?cargaHome=3&id\\_categoria=213](http://www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?cargaHome=3&id_categoria=213)

<http://www.prietocarrizosa.com/es/noticias/autogeneraci%C3%B3n-cumplimiento-regulatorio>

Revista Mundo Eléctrico Colombiano. Vol. 27, No. 92, Julio-Septiembre, 2013. Orvisa comunicaciones.

<http://es.scribd.com/doc/191632104/Articulo-Cogeneracion>.