



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Cogeneración y trigeneración, escala industrial

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTOR: MILTON SEBASTIAN ORTIZ TORRES

DIRECTOR: Ing. Pablo Danilo Arias Reyes

MATRIZ CUENCA

2018

DECLARACIÓN

Yo, Milton Sebastián Ortiz Torres, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

MILTON SEBASTIAN ORTIZ TORRES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Milton Sebastián Ortiz Torres bajo mi supervisión.

Ing. Pablo Danilo Arias Reyes

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

En este presente proyecto de investigación quiero agradecer primeramente a Dios por saberme llevar por un buen camino y darme la oportunidad de culminar una de mis metas. A mi familia y especialmente a mis padres y hermanos por brindarme la confianza, estar presentes y pendientes de mi todos los días, también quiero agradecer a todos los docentes de la Universidad Católica de Cuenca especialmente a mi tutor, Ingeniero Pablo Arias por todo el tiempo brindado y además por saberme guiar con sus conocimiento para poder culminar con el presente proyecto de investigación.

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación quiero dedicar a mi familia, a mi papi, a mi mami y hermanos que con su afecto, cariño, y consejos han sido la fuente principal de mi esfuerzo, de mis ganas de levantarme y seguir con firmeza para culminar con esta meta, y sobretodo enseñarme que con perseverancia todo es posible.

A mi novia y a mi hijo que fueron la mayor inspiración, y una dedicatoria especial a mi tío que se fue de mi lado para estar en un mejor lugar, sé que siempre quiso verme culminar con este proyecto, donde quiera que estés tío, esto es para ti.

TABLA DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
TABLA DE CONTENIDOS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE ANEXOS	x
RESUMEN	x
ABSTRACT	12
CAPITULO I	13
1. Introducción	13
1.1 Objetivos	13
1.2. Metodología	13
1.3 Justificación	14
CAPITULO II	16
2. Conceptos básicos	16
2.1 Energía eléctrica	16
2.2 Fuentes de energía	17
2.3 Generación de la energía eléctrica	17
2.4 Central térmica	18
2.5 Central Nuclear	18
2.6 Central Solar Térmica	19
2.7 Central hidroeléctrica	19
2.8 Central eólica	20
2.9 Central solar fotovoltaica	20
2.10 Energía térmica	21
2.11 Eficiencia energética	23
2.12 Gestión de energía	25
2.13 Generación distribuida	27
2.14 Norma ISO 50000	28
CAPITULO III	30
3. Marco teórico	30

3.1 Cogeneración.....	30
3.1.4 Componentes y sistemas de una planta de cogeneración.....	37
3.1.5 Ventajas.....	38
3.1.6 Desventajas.....	39
3.2 Trigeneración.....	39
3.3 Norma ISO 50001.....	42
CAPITULO IV.....	45
4. ANALISIS Y RESULTADOS.....	45
4.1 Industria A (cogeneración).....	45
4.2 Industria B (trigeneración).....	57
CAPITULO V.....	69
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
5.1 Conclusiones.....	69
5.2 Recomendaciones.....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de generación eléctrica mediante distintos tipos de fuentes o centrales eléctricas.....	18
Figura 2 Diagrama de una central térmica	18
Figura 3 Diagrama de una central nuclear	19
Figura 4 Diagrama de una central solar térmica	19
Figura 5 Diagrama de una central hidroeléctrica.....	20
Figura 6 Diagrama de una central hidroeléctrica.....	20
Figura 7 Diagrama de una central solar fotovoltaica	21
Figura 8 Generación de energía eléctrica y el uso de la misma en las industrias.....	21
Figura 9 Métodos de transmisión de la energía térmica	23
Figura 10 Métodos para la obtención de una mayor eficiencia energética.....	24
Figura 11 Principales impulsores de la gestión de la energía.....	26
Figura 12 Esquema de una generación distribuida.....	27
Figura 13 Modelo P-H-V-A.....	29
Figura 14 Sistema tradicional de una planta en una industria.	30
Figura 15 Sistema de una planta de cogeneración en una industria	31
Figura 16 Planta de cogeneración con turbina de gas.....	33
Figura 17 Diagrama de Sankey de la planta de cogeneración con turbina de gas	34
Figura 18 Planta de cogeneración con turbina de vapor	35
Figura 19 Planta de cogeneración con motor alternativo.....	35
Figura 20 Diagrama de Sankey de la planta de cogeneración con motor de gas.	36
Figura 21 Planta de cogeneración de ciclo combinado con motor alternativo	36
Figura 22 Sistema de una planta de trigeneración en una industria.....	40
Figura 23 Planta de trigeneración de refrigeración por absorción.....	41
Figura 24 Diagrama de temperaturas-presión-concentración-de soluciones.....	60
Figura 25 Diagrama de entalpías para soluciones LiBr.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Fuentes de energía y sus tipos de utilización.....	17
Tabla 2 Historias de los sistemas de generación en años.....	26
Tabla 3 Datos de la industria A	45
Tabla 4 Consumo eléctrico del año 2016 en la industria	47
Tabla 5 Datos importantes de un motor de combustión interna	47
Tabla 6 Rendimiento eléctrico de los diferentes tipos de combustible.	49
Tabla 7 Precio de venta de electricidad.....	51
Tabla 8 Consumo y costo de gas natural de la industria en el año 2016.....	52
Tabla 9 Costo de la energía eléctrica del año 2016 en la industria.	52
Tabla 10 Costo anual de la instalación cogeneración en la industria.	53
Tabla 11 Datos técnicos del motor a utilizar (modelo Caterpillar CG132-12).....	53
Tabla 12 Datos de consumos anuales en la industria.....	54
Tabla 13 Datos de la industria B.....	57
Tabla 14 Resumen de los estudios de implementación de la cogeneración y regeneración.	68

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Datos de la Industria A.....	73
Anexo 2 Datos de la Industria B.....	74

RESUMEN.

En este proyecto de investigación se presenta un estudio para la implementación de las tecnologías o sistemas de cogeneración y trigeneración en dos industrias de Cuenca (Industria A e Industria B), cumpliendo con la norma ISO 50000 que hace referencia a la gestión de energía y de esta manera remplazar las instalaciones de las plantas convencionales existentes en estas dos industrias. Se realizó el estudio de implementación en la industria A de un motor de combustión interna (cogeneración), mientras que en la industria B de una maquina o sistema de absorción (trigeneración). Para la ejecución de estos estudios se necesitaron varios datos como: la demanda anual tanto de energía eléctrica como de energía térmica de ambas industrias, las necesidades de aguas calientes sanitarias (ASC), necesidades de calor y frio, entre otros. Una vez obtenidos todos los datos se efectuaron los cálculos para determinar: la potencia a instalar de estas tecnologías, la tecnología más adecuada para cada una de ellas, los beneficios económicos que se pueden generar con su implementación; concluyendo que el uso de los sistemas de cogeneración y trigeneración darían como resultado una instalación más eficiente y con mayor rentabilidad; por lo que es recomendable su implementación.

Palabras claves: COGENERACIÓN, TRIGENERACIÓN, ENERGÍA ELÉCTRICA, ENERGIA TÉRMICA, GESTIÓN DE ENERGÍA

ABSTRACT

In this research, a study for the application of cogeneration and trigeneration technologies systems are exposed in two industries in the city of Cuenca (Industry A and Industry B), complying with the ISO 50000 standard that refers to energy management and in this way, replace the facilities of existing standard plants in these two industries. The study of implementing in industry A an internal combustion engine (cogeneration), whereas in industry B an absorption system (trigeneration). For the accomplishment of these studies, several information was needed such as: the annual demand of electric power and thermal energy of both industries, the requirements of sanitary hot water (ASC), heating and cooling requisites, etc. Once all the information was obtained, the estimates were made to establish: the power to install these technologies, the most appropriate technology for each of them, the economic benefits that can be produced with its implementation; concluding that the use of cogeneration and trigeneration systems would result in a more efficient facility and with a better profitability; so, it is recommended its execution.

Keywords: COGENERATION, TRIGENERATION, ELECTRIC ENERGY, THERMAL ENERGY, ENERGY MANAGEMENT

CAPITULO I

1. Introducción.

1.1 Objetivos.

1.1.1 Objetivo general.

Obtener el mayor provecho de energía eléctrica y térmica, que es desperdiciada en las industrias como el calor, vapor, frío, para obtener una mayor rentabilidad y eficiencia energética.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Identificar qué método es el más adecuado en las empresas, cogeneración o trigeneración.
- Determinar los costos ahorrados en porcentajes de cada tipo de implementación dada.
- Identificar los costos de instalación en cada uno de los casos.
- Determinar el tipo de ciclo mediante el cual va a funcionar el método implementado.

1.2. Metodología.

Se describe brevemente de manera conceptual la explicación de cómo se va realizar el estudio de implementación de la cogeneración y trigeneración, para la implementación de ahorro de energía eléctrica en los sectores industriales, cumpliendo con la norma ISO 50000 que hace referencia a la gestión de energía.

Una vez que se sabe la importancia de la cogeneración y trigeneración, en este proyecto se realizara el estudio de implementación de estas tecnologías de ahorro en las industrias, la cual permita básicamente reducir costos de energía eléctrica, reducir emisiones al medio ambiente y así obtener una mayor eficiencia energética en las industrias que deseen implementar estas tecnologías.

Para comenzar lo primero que se hará es una solicitud dirigida a las industrias u organizaciones a las que se vaya a realizar el estudio de implementación de las tecnologías de ahorro mencionadas, las mismas que autoricen la realización del estudio y al mismo tiempo entreguen los datos que se requiera y sean necesarios para desarrollar el mismo.

A continuación se revisaran datos de interés de las industrias como:

- La escala de la industria,
- Tipo de consumo de energía eléctrica y térmica,
- Historial de consumo de la industria (planillas de pago de le energía eléctrica, y de combustible o energía primaria para la energía térmica)
- Potencia, etc.

Luego se realizara la configuración y el dimensionamiento de cada uno de los componentes y equipos que contengan estas tecnologías a estudiar, y se verá el diseño apropiado de la planta de cogeneración o trigeneración, dependiendo de la característica de la industria, ya que de esto dependerá que se pueda obtener los mejores beneficios de las mismas.

Seguido de esto se decidirá el tipo de ciclo de cogeneración, asegurándonos que sea la más correcta y/o conveniente, ya que existen varios tipos de ciclos entre estos la trigeneración, seguido de esto se determinara la escala adecuada de la planta, y luego el diseño de los sistemas auxiliares que permitan obtener el mayor rendimiento de los equipos principales.

Después de haber realizado todos los pasos anteriores se llegara a la conclusión que es tomar la decisión final, la elección de que tecnología de ahorro es la más conveniente, dependiendo del desperdicio que exista en la industria tanto de vapor, como agua caliente, aceite térmico, gases calientes para secado y frio para refrigeración y procesos, etc.

Finalmente se describirá el funcionamiento e importancia de cada uno de los componentes y equipos a utilizarse en los métodos de cogeneración. Se obtendrán los datos de costo beneficio de la implementación en las industrias, datos del ahorro mensual o anual que se obtendrán implementado a cada una de estas plantas para que quede a decisión de los propietarios si implementar o no estas estas plantas de ahorro de energía eléctrica en sus industrias.

1.3 Justificación.

En este proyecto de investigación planteado se realizara el estudio de la implementación de estas tecnologías de aprovechamiento y ahorro de energía eléctrica y térmica (Cogeneración), para las algunas industrias de Cuenca, aplicada a la norma ISO 50000 Gestión de la calidad.

El estudio se lo llevara a cabo porque el costo de la energía eléctrica en las industrias de nuestro país y del mundo en general, representan un aporte significativo en lo económico para los propietarios de estas organizaciones, en lo que respecta al pago de las planillas de energía eléctrica y térmica gracias al aprovechamiento de calor que tienen las industrias que es básicamente desperdiciada.

La implementación de estas tecnologías de ahorro son para que las industrias que deseen implementarlas tengan un consumo de productos o servicios prestados menores y así tener una eficiencia energética correcta, también para que nuestro país llegue a ser un país competitivo en el caso que estos métodos sean de interés y obviamente implementados por las industrias y otras organizaciones.

La importancia de este estudio de implementación es significativamente favorable, por el hecho que no afecta a ningún tipo de persona, al contrario es de beneficio para todos, ya que

a más de significar un ahorro para el propietario, también cuida el medio ambiente utilizando una cantidad inferior de energía primaria a comparación de las plantas tradicionales que existen en las industrias logrando así una cantidad menor de sustancias liberadas o expulsadas al medio ambiente.

La magnitud de este estudio de implementación se dará dependiendo de cuanta energía eléctrica y térmica utilicen las industrias y la escala de las mismas. En cuanto a la posibilidad de mejorar la rentabilidad y eficiencia energética en las industrias es la mayor y/o mejor, porque la solución esta presentada. En cuanto a la implementación dependerá básicamente del propietario de la industria.

Una vez presentado el primer capítulo (introducción), de objetivos, metodología y justificación del proyecto de investigación, continuamos con el siguiente capítulo (conceptos básicos) donde se verá los conceptos básicos y necesarios para entender y poder determinar la importancia de esta tecnología en las industrias.

CAPITULO II

2. Conceptos básicos.

2.1 Energía eléctrica.

La energía se entiende como la capacidad que tiene un sistema o un cuerpo para realizar un trabajo o producir alguna transformación o cambio, tales transformaciones o cambios pueden ser como el calentamiento, movimiento, o alteraciones en estos cuerpos.

Hay que tener en cuenta la diferencia entre energía y potencia, ya que el concepto de estos suelen ser similares. Energía eléctrica es la transferencia de potencia eléctrica por una unidad de tiempo.

Entre las unidades de energía más utilizadas tenemos:

- Julio (J),
- Caloría (cal)
- Kilovatio hora

Las cuales están definidas básicamente como el trabajo, calor y consumo de energía eléctrica.

La energía se puede presentar de varias formas, las principales son:

- Energía mecánica
- Energía térmica
- Energía química
- Energía nuclear
- Energía radiante
- Energía eléctrica

De las cuales todas estas formas de energía pueden clasificarse en dos tipos:

- Energía primaria
- Energía secundaria

La energía primaria es la que se tiene disponible en la naturaleza sin necesidad de ser transformada, como por ejemplo: el carbón, gas, el agua, el sol, etc.

Y la energía secundaria es el resultado de la transformación de las energías primarias en energía eléctrica.

Esta energía eléctrica puede ser transformada también en otras energías como: la energía mecánica, energía lumínica o de luz y la energía térmica.

2.2 Fuentes de energía.

Las fuentes de energía están en los recursos que existen en la naturaleza, de los cuales se puede obtener energía eléctrica; que en este caso es lo que interesa.

Estas fuentes de energía se puede clasificar en:

- **Renovables.-** Inagotables por el hecho que se regeneran a un ritmo significativamente superior al que se consume.
- **No renovables.-** Existen en cantidades limitadas, su regeneración es inferior al que se consume.

Si nos referimos por su utilización, las clasificamos en:

- **Convencionales.-** De uso más extendido.
- **Alternativas.-** De uso menos extendido, pero hoy en día tienen mucha importancia.

Tabla 1 Fuentes de energía y sus tipos de utilización

TIPOS DE FUENTES	Convencionales	Alternativas
No renovables	Combustibles fósiles	
	Energía Nuclear	
Renovables	Energía Hidráulica	Energía solar
		Energía eólica
		Energía mareomotriz
		Energía de la biomasa
		Energía geotérmica

Fuente Elaboración propia.

2.3 Generación de la energía eléctrica.

La generación de energía eléctrica se produce en centrales eléctricas las cuales pueden ser de distintos tipos de fuentes; a continuación en la (Ilustración 1), se muestra como se genera la energía eléctrica por medio de diferentes centrales:



Figura 1 Diagrama de generación eléctrica mediante distintos tipos de fuentes o centrales eléctricas
Fuente La energía eléctrica.

2.4 Central térmica.

Se le llama central térmica a la que es encargada de transformar la energía calorífica de los combustibles como; el gas, el carbón, etc. en energía eléctrica.

Teniendo en cuenta que las centrales térmicas también pueden funcionar con energía nuclear.



Figura 2 Diagrama de una central térmica

Fuente José Agüera Soriano 2011.

2.5 Central Nuclear.

Una central nuclear genera energía eléctrica a partir de una transformación previa de combustibles radiactivos como el uranio y plutonio por ejemplo, es decir materiales que sean adaptados para ser utilizados en la generación de energía nuclear.



Figura 3 Diagrama de una central nuclear

Fuente Centrales nucleares Almaraz-Trillo mayo 2015.

2.6 Central Solar Térmica.

Estas centrales son instaladas con la finalidad de aprovechar las radiaciones del sol para generar energía eléctrica. Se produce energía eléctrica mediante la utilización de lugares que tengan espejos para la concentración de radiación solar, convirtiéndolas en vapores de alta temperatura y luego mediante una turbina y generador obtener energía eléctrica.



Figura 4 Diagrama de una central solar térmica

Fuente Centrales solares y producción de energía eléctrica.

2.7 Central hidroeléctrica.

Las centrales hidroeléctricas utilizan la energía hidráulica para generar energía eléctrica. La caída de agua entre dos niveles de un cause pasa por una turbina hidráulica la cual transforma esta energía potencial de la caída del agua en energía mecánica rotatoria. El eje de la turbina

está conectado a un generador de corriente alterna (alternador) la cual convierte esta energía mecánica en energía eléctrica.



Figura 5 Diagrama de una central hidroeléctrica

Fuente Componentes básicos de un proyecto hidroeléctrico, Ing. Dr. Carlos Cardozo 2011.

2.8 Central eólica.

La energía eólica es la que se obtiene a partir del viento, es decir cuando grandes masas de aire están en movimiento o existe corrientes de aire. Las centrales eólicas son utilizadas para generar energía eléctrica mediante aerogeneradores.



Figura 6 Diagrama de una central hidroeléctrica

Fuente Física ambiental 2011.

2.9 Central solar fotovoltaica.

Las centrales solares fotovoltaicas utilizan energías procedentes del sol para generar energía eléctrica al igual que las térmicas, con la diferencia que estas centrales no necesitan para su

generación turbinas ni generadores. Estas centrales generan electricidad usando paneles de célula fotovoltaica.



Figura 7 Diagrama de una central solar fotovoltaica

Fuente Foser (fortalecimiento de la capacidad de energía renovable para América central) 2002.

Si bien es cierto el tema de investigación que se realiza es en la escala industrial, pero es necesario tener en cuenta todos los puntos vistos anteriormente, por lo que a continuación tendremos un esquema de resumen:



Figura 8 Generación de energía eléctrica y el uso de la misma en las industrias.

Fuente La energía eléctrica.

2.10 Energía térmica.

La energía térmica, también conocida como energía calórica o calorífica es la manifestación de la energía en forma de calor. Los átomos que crean moléculas en cada material se

encuentran en movimiento continuo, como en un estado de traslación o de vibración, este estado conlleva a que los átomos obtengan una determinada energía cinética, la que es conocida como energía térmica, calor o energía calorífica.

Al instante que se aumenta la temperatura a un elemento, aumenta su energía térmica, al aumentar la energía térmica en un cuerpo no quiere decir que la temperatura de este también aumente, por los cambios de fase como por ejemplo de líquido a gas, en este caso la temperatura se mantiene. Daremos un ejemplo a continuación:

Cuando se calienta agua en un recipiente semiesférico mediante un determinado tiempo va obteniendo energía térmica y también va incrementando su temperatura, pero al instante que llega a obtener la temperatura de ebullición, es decir al cambio de fase de agua a vapor en este caso, mas no para aumentar su temperatura.

2.10.1 Transmisión de la energía térmica.

Esta energía permite transmitirse de un cuerpo a otro mediante tres métodos distintos en base a las leyes de la termodinámica.

- Transmisión de energía térmica por radiación
- Transmisión de energía térmica por conducción
- Transmisión de energía térmica por convección

2.10.1.1 La transmisión de energía térmica por radiación.

Esta es la manera que se obtiene la energía térmica proveniente del sol, el ejemplo principal de este método es el de las instalaciones de energía solar térmica donde su objetivo es aprovechar las radiaciones solares para distintos usos.

2.10.1.2 La transmisión de energía térmica por conducción.

Cuando dos cuerpos de temperaturas distintas están en contacto físico, la energía es transmitida siempre del cuerpo con mayor temperatura al de menor temperatura, en el caso de que los dos cuerpos estén con temperaturas iguales no existe transferencia energética.

2.10.1.3 La transmisión de energía térmica por convección.

En este caso se produce en el viento, cuando se transportan o trasladan las moléculas con energía calorífica de un lado a otro.



Figura 9 Métodos de transmisión de la energía térmica

Fuente Mecanismos de transferencia de calor.

2.11 Eficiencia energética.

La eficiencia energética consiste en minimizar el consumo de energía eléctrica que tienen las industrias en este caso, para satisfacer sus necesidades sin afectar su producción o calidad, es decir, por ejemplo; hacer un cambio de un equipo o máquina por otro que cumpla con las mismas funciones pero que consuma menos energía eléctrica, así el comportamiento de las industrias seguirá siendo los mismos, con la diferencia de que el consumo de energía eléctrica será menor.

Hay que tener en cuenta que la eficiencia energética no es lo mismo que ahorro energético, el ahorro energético por ejemplo es: apagar los artefactos eléctricos sin estar ocupándolos o apagar las luces de los cuartos al salir de ellos, porque consumen energía eléctrica sin ningún beneficio. La eficiencia energética es básicamente reducir el consumo de energía eléctrica, y a su vez reducir el pago de la misma, manteniendo al menos la misma producción y beneficios. La eficiencia energética en las empresas y/o industrias tienen que realizarse mediante estrategias que vayan relacionadas con:

- Diversidad energética
- Reducción de la demanda energética
- Innovación tecnológica
- Máximo aprovechamiento del uso de energías renovables
- Autoconsumo a través de micro redes
- Modificación de los hábitos de consumo

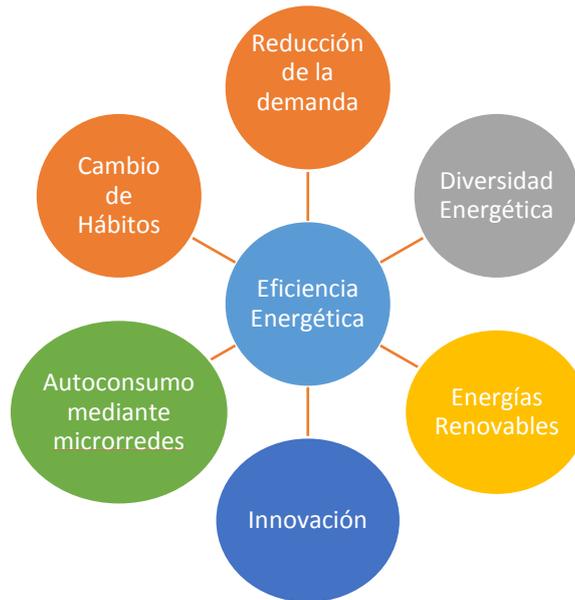


Figura 10 Métodos para la obtención de una mayor eficiencia energética.

Fuente Elaboración propia

2.11.1 Diversidad energética.

Se basa en contar con diferentes fuentes de generación de energía eléctrica, que sean confiables. Como la cogeneración y trigeneración que es lo que se está investigando en este proyecto.

2.11.2 Reducción de la demanda energética.

La reducción de esta demanda nos permite continuar de la manera más económica posible a los objetivos de minimizar los costos de energía eléctrica, minimizando el impacto ambiental e incrementado la seguridad energética.

2.11.3 Innovación tecnológica.

Innovación tecnológica es la que está relacionada en su mayoría con la eficiencia energética y el interés de encontrar mejoras para los procesos industriales que deseen obtener menor energía y así obtener mayores bienes y servicios.

2.11.4 Máximo aprovechamiento del uso de energías renovables.

Como se tiene entendido las energías renovables son recursos que nos proporciona la naturaleza de manera limpia e ilimitada, que nos sirve para generar energía eléctrica, lo que nos permite minimizar la dependencia de suministros externos, caros y escasos.

2.11.5 Autoconsumo a través de micro redes.

Al hablar de autoconsumo de energía, hay que considerar el autoconsumo total y el parcial, el autoconsumo total es la energía que se consume en la red interior, y el autoconsumo parcial es la parte de la energía generada que se traslada a la red de distribución. Las micro redes son inteligentes, y permiten distribuir energía mejorando la confiabilidad de la red, y que el consumidor pueda obtener mejores resultados de costos de energía.

2.11.6 Modificación de los hábitos de consumo.

La manera de cómo se comporta la energía es consecuencia de la obtención de algún equipo o de un hábito de conducta de las personas. En el caso de la obtención de algún equipo se entiende como la obtención de algún equipo de nuevas tecnologías, mientras los hábitos hace referencia a conductas que tienen las personas todos los días, como por ejemplo apagar los focos siempre que desocupen los cuartos en los que estén.

Después de haber visto todos estos puntos, podemos dar como conclusión que para el ahorro de energía y una mayor eficiencia energética implica a todo el personal de una empresa o industria.

2.12 Gestión de energía.

La gestión de energía radica en optimizar el uso de la energía eléctrica, explorando un uso racional que llegue a ser eficiente, sin minimizar los servicios o prestaciones que den las industrias, mediante la gestión de energía se encuentran varias oportunidades para el beneficio de las industrias que están relacionadas con la seguridad y calidad de los sistemas energéticos, obteniendo así que los dueños de las industrias estén al tanto de los sistemas a implementarse y sus mejoras, y de la alta eficiencia energética alcanzada.

Para incorporar la gestión de energía como parte de la política pública, existen cuatro principales impulsores, que se ven a continuación:

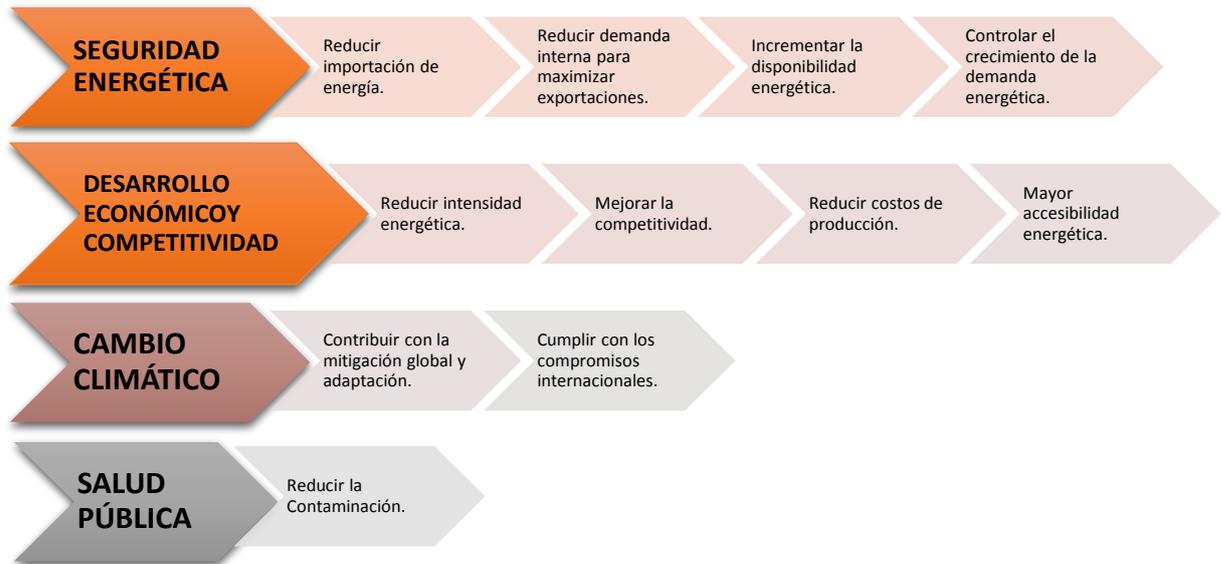


Figura 11 Principales impulsores de la gestión de la energía.

Fuente Elaboración propia.

2.12.1 Surgimiento de los sistemas de gestión de energía.

Tabla 2 Historias de los sistemas de generación en años

HISTORIA DE LOS SGEN	
1970	Crisis del petróleo. Gestión de la producción y compra de energía, servicios energéticos y conservación de la energía
1988	Las industrias comienzan a desarrollar programas de eficiencia energética.
1990	Australia: AS 3595. Programas de Gestión Energética - Guía para evaluación financiera de proyectos.
1992	Australia: AS 3596. Programas de Gestión Energética - Guía para definición y análisis de ahorro de energía y costos.
1995	EEUU: ANSI 739. IEEE Recomendación práctica para la Gestión Energética en instalaciones industriales y comerciales. Canadá: Plus 1140. Guía para la Gestión energética voluntaria. China: GB/T 15587. Guía para la Gestión energética en las empresas industriales.
2000	EEUU: ANSI/MSE 2000:2000
2001	Dinamarca: DS 2403 :2001
2003	Suecia: SS 627750: 2003
2005	Irlanda: I.D. 393:2005 Holanda: Sistema de Gestión Energética.
2007	España: UNE 216301:2007 Corea del Sur: KSA 4000:2007 Alemania: Gestión energética - términos y definiciones
2009	Sudáfrica: SANS879:2009 China: GB/T 23331:2009 Europa: EN 16001:2009
2011	Estándar Internacional ISO 50001:2011 México: NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011

Fuente Elaboración propia.

El surgimiento de los sistemas de gestión de energía (SGEN) comenzó en la década de los setentas, desde dicha época se ha impulsado el desempeño energético a nivel mundial.

2.13 Generación distribuida.

La generación distribuida o también conocida como generación descentralizada, fundamentalmente consiste en la generación de energía eléctrica mediante otras fuentes de energía de menor escala, que serían implementados en lugares cercanos a los lugares de consumo, y que están conectadas a la red de distribución local.

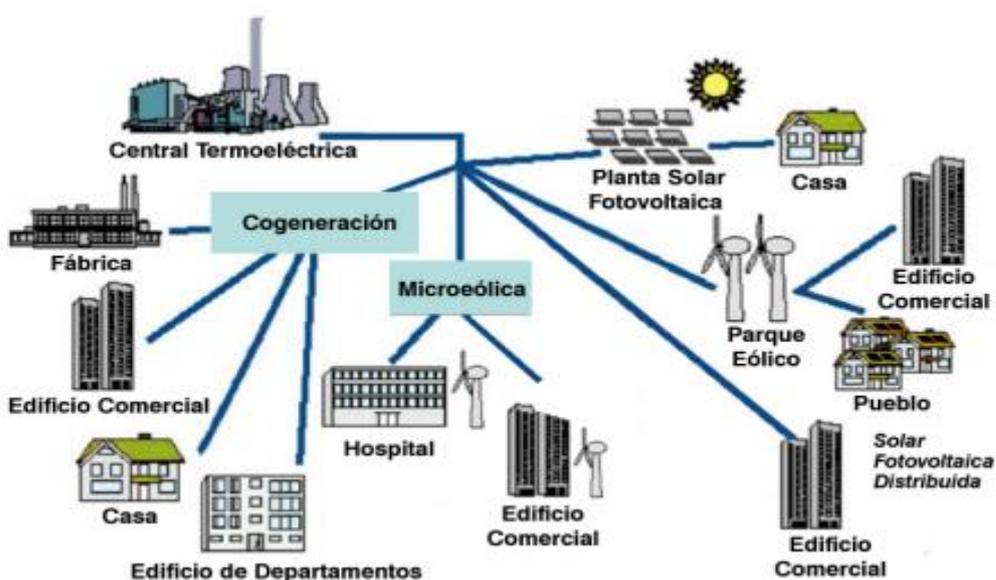


Figura 12 Esquema de una generación distribuida

Fuente Los verdes-FEP 2016

Las características principales de la generación distribuida son:

- Se Minimiza de manera notable las pérdidas en la red
- Su energía entregada no revierte flujos a la red
- Tienen potencias inferiores a 10kW de potencia instalada.

2.13.1 Tecnologías y aplicaciones de generación distribuida.

Si observamos desde un punto tecnológico y constructivo existen diversos tipos de generación distribuida, los cuales pueden dividirse en dos grupos:

Tradicionales:

- Turbina de gas
- Micro turbina
- Motores alternativos

No tradicionales:

- Solar térmica
- Solar fotovoltaica
- Eólica
- Geotérmica
- Pilas de combustible
- Mini hidráulica
- Biomasa

Como se puede ver la tecnología y aplicación que sobresale en la generación distribuida es la de turbina a gas, micro turbina y motores alternativos, lo que conlleva a definirlo en una sola palabra, cogeneración y/o trigeneración. Que es, la investigación que se está realizando en este proyecto.

2.14 Norma ISO 50000.

La ISO (Organización Internacional de Normalización), tiene como objetivo representar un instrumento de gran importancia para mejorar la eficiencia eléctrica en industrias, empresas, instituciones públicas y privadas.

Esta norma apunta básicamente a la mejora continua de la eficiencia energética, de los costos que están relacionados con la energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

El modelo de gestión energética, está basado en la estructura de mejora continua utilizando: el modelo llamado Deming o PDCA (Plan, Do, Check, Act); traducido al español sería: (Planear, Hacer, Verificar, Actuar).

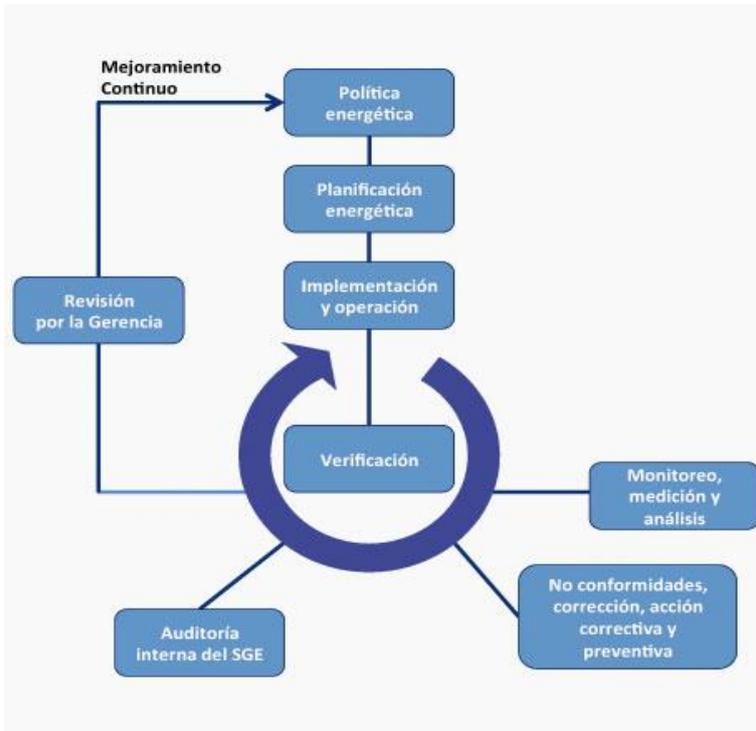


Figura 13 Modelo P-H-V-A

Fuente Guía de implementación ISO 50001 2012.

Se han analizado brevemente los conceptos básicos de energía eléctrica y generación eléctrica, así como las diferentes formas de su obtención, se ha introducido también los conceptos de eficiencia energética y calidad de energía, así como el de gestión energética y la Norma ISO 50001, y la Cogeneración y Trigeneración como la base de la generación distribuida en Industrias; conceptos claves que serán utilizados para aplicar la metodología planteada en este trabajo de investigación. En el siguiente capítulo se amplían los conceptos específicos para el desarrollo del trabajo propuesto.

CAPITULO III

3. Marco teórico.

3.1 Cogeneración.

La cogeneración hace referencia a un procedimiento mediante el cual se llega a obtener dos tipos de energía al mismo tiempo, estas energías obtenidas son la energía mecánica que es transformada en electricidad (mediante un alternador acoplado al eje del motor) y la energía térmica, pudiendo ser también la energía mecánica y el calor o frío.

La energía térmica producida se utilizara para calefacción, de aguas calientes sanitarias, y para la obtención del aire frio se realizara con una máquina de absorción.

Para el funcionamiento de esta planta de cogeneración se necesita de combustibles fósiles como el gas natural, el fuel etc. Donde el propósito es mejorar la eficiencia de dichas maquinas. Estas plantas funcionarán por medio de una turbina o motor, dependiendo del lugar en el cual vaya a implementarse la cogeneración.

La planta térmica conjuntamente con la cogeneración tendrá así una mayor eficiencia energética, ya que es aprovechado tanto la energía eléctrica como el calor o frio en un solo proceso.

En la cogeneración la energía aprovechada es aproximadamente de un 60%, dependiendo de la tecnología, esta puede ser mayor, comparando con las centrales eléctricas convencionales que aprovechan la energía en un 35% aproximadamente.

Se puede notar una diferencia significativa la cual es dada, porque en la cogeneración se aprovecha la energía térmica que es desprendida de la turbina o motor al generar electricidad, lo cual en las centrales eléctricas convencionales esta es expulsada al medio ambiente.

A continuación se puede observar la diferencia mediante una gráfica.

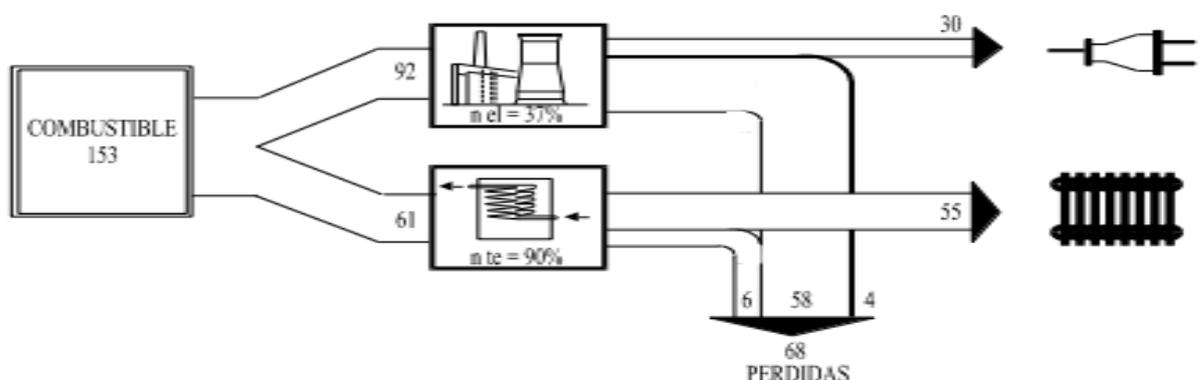


Figura 14 Sistema tradicional de una planta en una industria.

Fuente Cogeneración Dr. Juan Carlos Campos Avella.

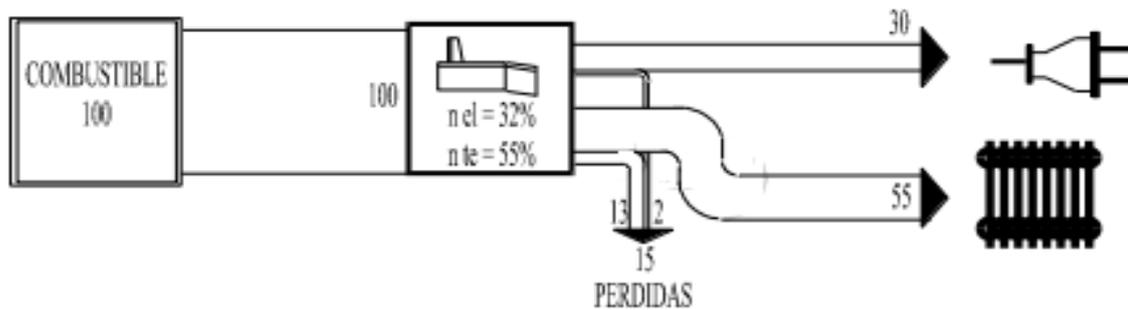


Figura 15 Sistema de una planta de cogeneración en una industria

Fuente Cogeneración Dr. Juan Carlos Campos Avella.

$$\left(1 - \frac{100}{153}\right) * 100 = 35 \% \text{ de ahorro de energía primaria}$$

3.1.1 Aplicaciones de la cogeneración.

Al saber que la cogeneración tiene una gran eficiencia energética donde se obtiene un mayor provecho de estas plantas es en los sectores que tengan consumos de energía eléctrica elevados y obviamente el requisito principal para la implementación de estas plantas, son lugares donde exista consumo de calor y/o frío.

Para determinar el tipo de instalación o tecnología de estas plantas hay que tener en cuenta qué tipos de combustibles disponibles se tiene.

En definitiva las plantas de cogeneración pueden instalarse donde exista un consumo térmico significativo y muchas horas de funcionamiento, para obtener una mayor rentabilidad en las industrias. A continuación se dará algunos ejemplos de industrias idóneas para la implementación de la cogeneración.

- Industrias químicas
- Industrias de refinamiento de petróleo
- Cerámica
- Papel
- Alimentos
- Empresas de producción de CO₂
- Tratamiento de residuos, etc.

Como se observa anteriormente la cogeneración en su mayoría es aplicada en procesos industriales, no obstante, la cogeneración también puede ser implementada en el sector

terciario o de servicios que también cuentan con necesidades térmicas, para climatización en su mayoría.

Estos lugares donde también se puede hacer presente la implementación de la cogeneración son:

- Hoteles
- Colegios, universidades
- Piscinas
- Centros comerciales
- Aeropuertos

3.1.2 Sistemas o tecnologías de plantas de cogeneración.

Las plantas de cogeneración tienen un sistema complejo por así decirlo, tienen una entrada principal que es de un combustible, y como salida se obtiene energía y calor y/frío.

Los sistemas de cogeneración dependiendo del orden de generación de energía eléctrica y energía térmica, son clasificados en dos sistemas o ciclos:

Ciclos superiores (cabeza).- La energía primaria es utilizada principalmente para la producción de energía eléctrica, después el calor residual es utilizado para las necesidades térmicas.

Ciclos inferiores.- La energía primaria es utilizada para la producción de energía térmica después el calor residual es utilizado para la producción de energía eléctrica, es decir la energía primaria es utilizada como un proceso industrial, pueden ser estos hornos como por ejemplo, y la energía térmica que nos es aprovechada, será utilizada para la generación de energía eléctrica.

3.1.3 Tecnologías.

La cogeneración puede obtenerse mediante varias tecnologías, unas más importantes que otras. A continuación se enumera los diferentes tipos de tecnologías que existen:

Las principales tecnologías son:

- Turbina a gas
- Turbina a vapor
- Motor alternativo de combustión interna (MCI)

Existen otros tipos de tecnologías que son combinaciones, como por ejemplo:

- Ciclo combinado con turbina de gas
- Ciclo combinado con motor alternativo

3.1.3.1 Planta de cogeneración con turbina de gas.

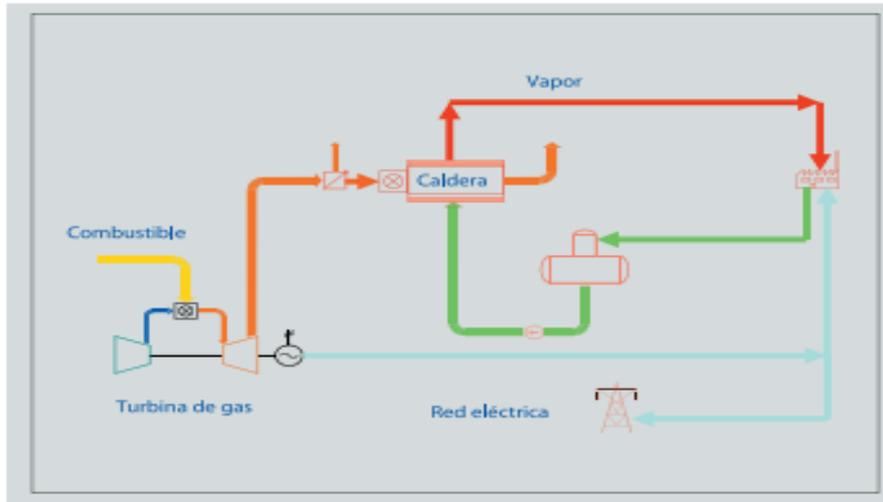


Figura 16 Planta de cogeneración con turbina de gas.

Fuente Aspectos tecnológicos Diego Fraile 2008.

En este tipo de planta de cogeneración, con turbina a gas, su funcionamiento se da mediante la quema del combustible en un turbogenerador. Parte de esta energía es transformada en energía mecánica, y esta se transformara en energía eléctrica mediante un alternador.

Esta planta tiene la ventaja de recuperar al calor fácilmente cuando se encuentre realizando las actividad en su totalidad en los gases o vapores de escape que estén en una temperatura estimada de unos 500°C, adecuada para la producción de vapor en una caldera de recuperación.

En este caso la planta es de ciclo simple, lo que representa que este sistema va a constar principalmente de una turbina de gas y una caldera de recuperación, lo cual genera vapor inmediatamente a la presión de utilización en la planta asociada a la cogeneración. Este tipo de planta es conveniente aplicarla cuando las necesidades de vapor son considerables (>10 t/h, tonelada por hora), que es lo que normalmente se tiene o se encuentra en las industrias.

La planta mediante turbina a gas tiene una gran fiabilidad y también son caracterizadas por ser económicamente rentables cuando estén en funcionamiento un importante número de horas con demanda de calor continua.

En el caso que la demanda de vapor o calor sea mayor a la que pueda entregar los gases de escape, se puede producir una cantidad adicional con la utilización de un quemador de postcombustión. Esto se puede realizar porque los gases de escape son considerablemente ricos en oxígeno, caso contrario al escape de un motor alternativo, ya que contienen menor cantidad de oxígeno lo que puede permitir una combustión segura. En este caso si se quiere realizar la postcombustión, es necesario enriquecerlo en oxígeno.

Para realizar la postcombustión se suele optar en conservar calderas auxiliares para reserva en el caso que exista más aportes de calor.

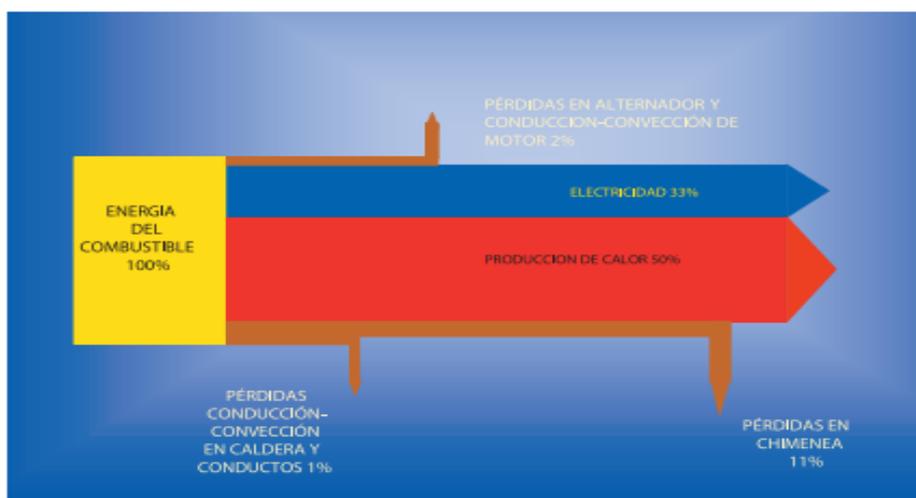


Figura 17 Diagrama de Sankey de la planta de cogeneración con turbina de gas

Fuente Aspectos tecnológicos Diego Fraile 2008.

En esta planta existe la posibilidad de aprovechar directamente el calor de los gases de escape sin transportarlos por una caldera, por lo que pueden ser utilizados estos gases para funciones como secadores, aplicando el gas de escape directamente sobre el material a secar.

3.1.3.2 Planta de cogeneración con de turbina de vapor.

La cogeneración con turbina de vapor fue el primer ciclo que se utilizó en la cogeneración, inicia desde una caldera convencional, en la cual la energía mecánica (luego producida en energía eléctrica) es producida por la expansión de vapor a alta presión.

En la actualidad prácticamente este tipo de ciclo ha sido limitado para complementos de ciclos combinados o instalaciones con combustibles residuales como la biomasa.

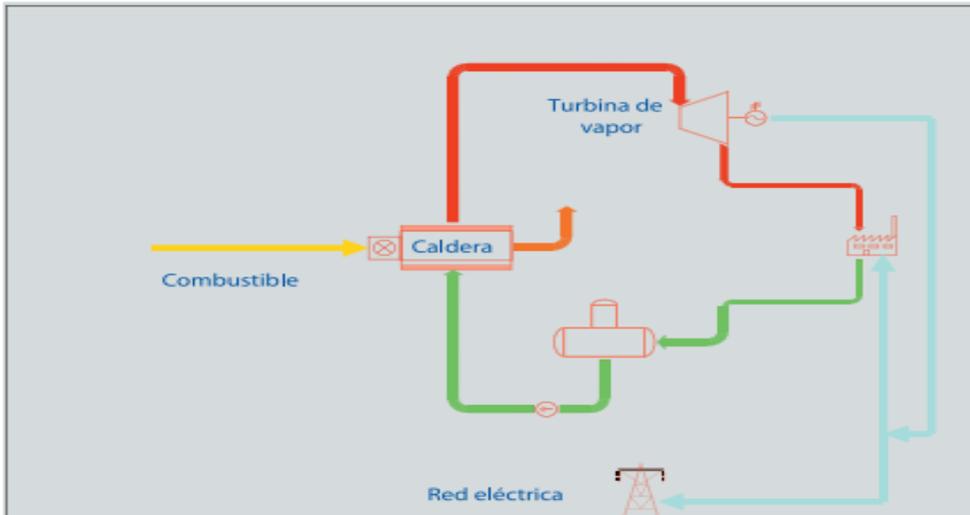


Figura 18 Planta de cogeneración con turbina de vapor

Fuente Aspectos tecnológicos Diego Fraile 2008.

Las turbinas son clasificadas en turbinas a contrapresión y en turbinas a condensación, dependiendo de la salida de vapor que exista, las cuales estarán equipadas por un condensador.

3.1.3.3 Planta de cogeneración con motor alternativo de gas o fuel, ciclo simple.

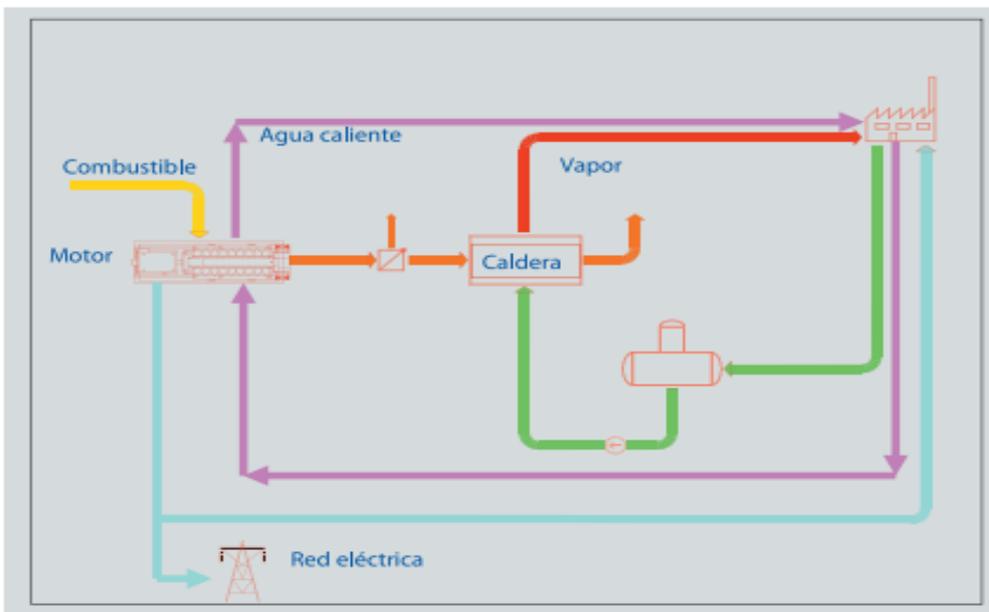


Figura 19 Planta de cogeneración con motor alternativo

Fuente Aspectos tecnológicos Diego Fraile 2008.

Estas plantas de cogeneración usan gas, gasóleo o fuel oil como combustible. Son convenientes para su implementación en lugares de potencia menores a 15MW.

Básicamente se fundamentan en la producción de vapor a baja presión (hasta 10 bares), y en la utilización del circuito de agua de refrigeración de alta temperatura del motor. También son adecuadas para producir frío por absorción.

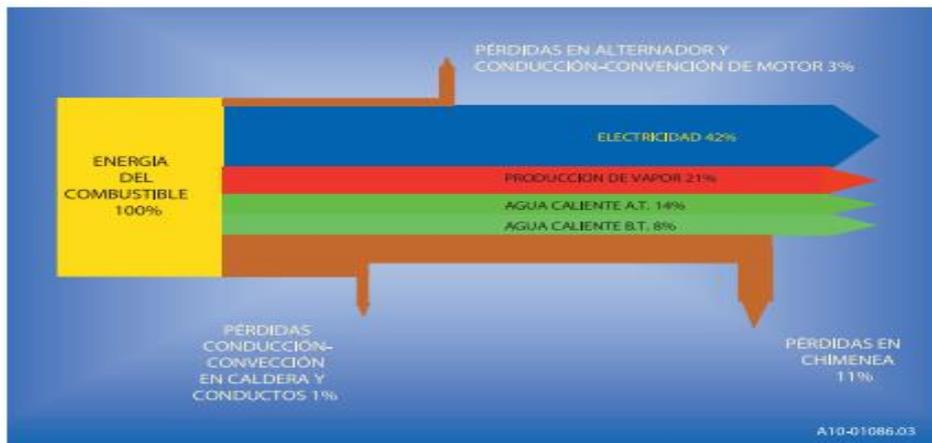


Figura 20 Diagrama de Sankey de la planta de cogeneración con motor de gas.

Fuente Aspectos tecnológicos Diego Fraile 2008.

3.1.3.4 Planta de cogeneración en ciclo combinado con motor alternativo.

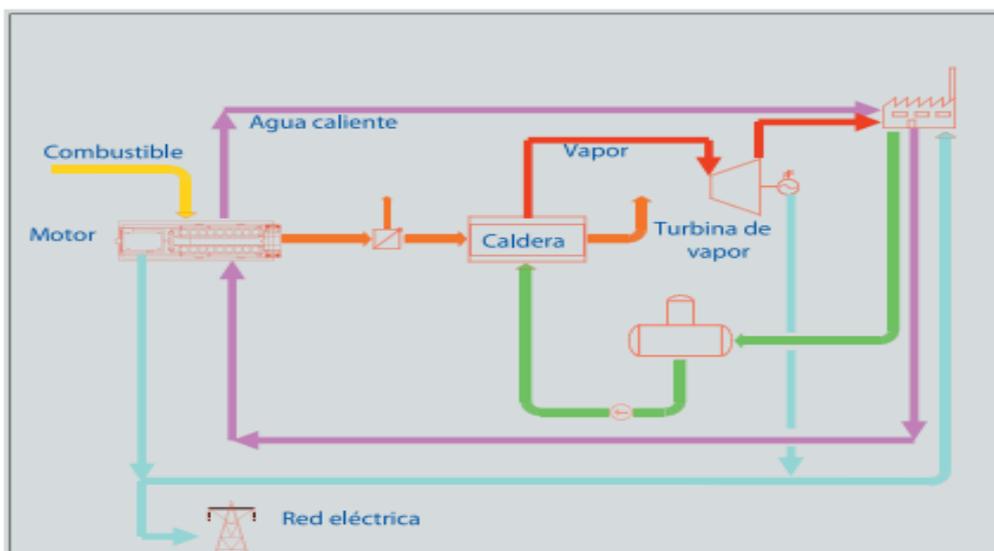


Figura 21 Planta de cogeneración de ciclo combinado con motor alternativo

Fuente Aspectos tecnológicos Diego Fraile 2008.

Este tipo de planta de cogeneración, el calor contenido en los gases de escape del motor se recupera en una caldera de recuperación, produciendo así vapor que será utilizado en una turbina de vapor para producir más energía eléctrica en este caso.

El circuito de recuperación de alta temperatura del motor, el calor de los gases que sale de la generación de vapor hacia la turbina de vapor, y el calor que se recupera será utilizado directamente en la industria.

En este tipo de planta el rendimiento eléctrico es alto, mientras que el térmico disminuye considerablemente, por lo que es bueno aplicar donde exista demandas bajas de calor.

Se puede también aprovechar el calor del escape de la turbina de vapor, y así mejorar el rendimiento.

Combustibles usados

Entre los combustibles usados para cogeneración se tienen:

- Gas Natural (la mejor opción)
- Biomasa (ejemplo: palma aceitera)
- Biogás
- Propano
- Diésel y combustibles residuales

Depende del tipo de sistema de cogeneración y la facilidad de obtener estos combustibles en las industrias, para la elección de estos combustibles.

3.1.4 Componentes y sistemas de una planta de cogeneración.

En toda tecnología de cogeneración que se tenga en mente implementar en una industria, se debe tener varios componentes y sistemas que sirven para un mejor rendimiento de la planta, entre estos tenemos los principales que se dividirán en cinco partes las cuales son:

1) Fuentes de energía primaria

- Gas natural
- Diésel
- Biomasa

2) Maquina principal

- Turbina de gas

- Turbina de vapor
- Motor alternativo de combustión interna (MCI)

3) Sistemas de recuperación de calor

- Secaderos
- Intercambiadores de calor
- Hornos
- Calderas de recuperación
- Sistemas de post-combustión

4) Sistemas de aprovechamiento de energía mecánica

- Generador eléctrico
- Accionamientos mecánicos (bombas, molinos compresores, etc.)

5) Sistemas auxiliares

- Sistemas de evacuación del calor residual
- Sistemas de transporte de energía eléctrica
- Sistemas de control
- Sistemas de conexión a la red de distribución (interna o externa)

De todos los componentes y sistemas mencionados, en la hora del diseño de la planta de cogeneración, solamente la maquina principal es la que tendrá mayor importancia, por el hecho que es el componente con mayor peso sobre tal proceso a realizarse.

3.1.5 Ventajas.

Al optar las industrias por implementar este tipo de plantas de cogeneración de una manera correcta, se obtendrá varias ventajas importantes, ya que las industrias son caracterizadas por tener gran cantidad de demanda en energía eléctrica y térmica. Entre las principales ventajas se pueden nombrar:

- Ahorro de la energía primaria, el combustible utilizado en una planta de cogeneración es inferior a la de una central térmica convencional.
- Ahorro económico significativo, por lo mencionado en la ventaja anterior.
- No existen perdidas de energía eléctrica, mediante su transporte y distribución, al tener autogeneración para la industria.
- Existe la posibilidad de industrializar zonas donde las redes de distribución eléctrica se encuentren en lugares lejanos.

- Se puede tener ahorros por la autogeneración de energía térmica, para uso destinado específico.
- Posibilidad de la venta de energía eléctrica a la red de distribución local.
- Confiabilidad al contar las industrias con generación propia, evitando así cortes que afectan a la producción de la misma.
- Reducción de emisiones al tener menor consumo de energía primaria, mejorando así el medio ambiente.

3.1.6 Desventajas.

- La asesoría y consultoría de la cogeneración para su puesta a marcha, genera una inversión.
- La inversión adicional que tiene la cogeneración por su implementación y los equipos que contiene la misma.
- El mantenimiento que requieren estas plantas de cogeneración.

Al optar las industrias por implementar este tipo de plantas de cogeneración de una manera correcta, no existe muchas desventajas, en realidad las que sobresalen son las ventajas.

3.2 Trigeneración.

La trigeneración no es más que la cogeneración más un sistema de absorción, el cual tiene como función la producción de frío a partir del calor residual.

Existen varias maneras de realizar cogeneración, como vimos anteriormente, pero en alguno de los casos es adecuado aplicar la tecnología de trigeneración, en tiempo de verano por ejemplo, por lo que la demanda térmica en este estado de tiempo se reduce notablemente, y la demanda eléctrica aumenta por el empleo de componentes para refrigeración, como el compresor eléctrico.

En el calor producido en los equipos de cogeneración, en la trigeneración este puede ser aprovechado para producir frío, y así poder cubrir la demanda de aire acondicionado por ejemplo en esta época de verano. Obteniendo de esta manera a partir de una energía primaria, tres tipos de energía simultáneamente, la energía térmica (en forma de calor y frío) y la energía eléctrica.

Con la implementación de la trigeneración este problema queda solventado, porque el consumo eléctrico de compresores será sustituido por consumo térmico de las máquinas de absorción, igualando así la curva eléctrica con la térmica.

Además no únicamente en sitios donde existe calor de verano, también se la puede utilizar en locales en donde se requiera el uso de aire acondicionado y sistemas de refrigeración.

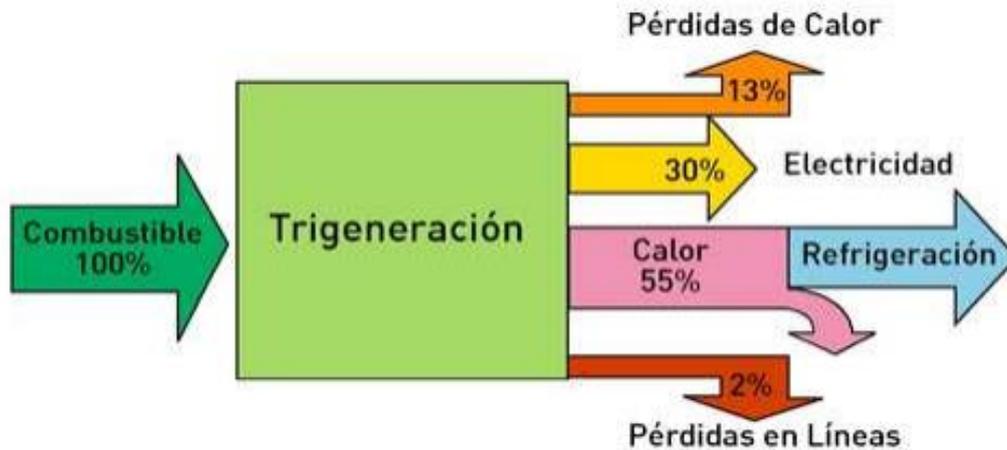


Figura 22 Sistema de una planta de trigeración en una industria.

Fuente Jorge Naranjo Delgado 2010.

Este método tiene algunas características como:

- Aprovechar el calor para producir frío
- Se realiza mediante ciclos de refrigeración por absorción
- Muy útiles para instalaciones cogeneradoras del sector terciario.
- Iguales equipos que para cogeneración + equipos para producir frío.

La cogeneración y trigeración están considerados como la mejor tecnología disponible para la utilización de combustibles fósiles.

3.2.1 Sistemas o tecnologías de plantas de trigeración.

3.2.1.1 Planta de refrigeración por absorción.

La refrigeración por absorción representa la solubilidad de un gas en una solución a temperatura baja y la oportunidad de esta solución en eliminar el gas cuando la temperatura aumente, la absorción va acompañada de un desprendimiento de calor.

En este ciclo de absorción el refrigerante es absorbido para formar una solución líquida, es absorbido por una sustancia que es conocida como absorbente, esta solución se comprime hasta alta presión con unas bombas. Al ser el volumen propio de esta solución mucho menor que el de vapor refrigerante, el trabajo realizado por las bombas será mucho menor, a continuación, para la compresión se necesitara menor potencia que para los sistemas tradicionales.

En los sistemas de absorción hay que insertar un medio que permita recurar el refrigerante vapor desde la solución líquida, antes de que el refrigerante ingrese al condensador. Para transferir calor desde una fuente a una temperatura alta se utilizan los vapores y calores residuales de la planta, de no ser así serían desaprovechados y liberados al medio ambiente.

Los cuatro componentes básicos con los que se realiza el ciclo de absorción son; el generador, el condensador, el evaporador y el equipo de absorción. El generador y condensador trabajan en la zona de alta presión, mientras que el evaporador y el equipo de absorción en la zona de baja presión. Entra las dos zonas suele existir una relación de presión de 10:1.

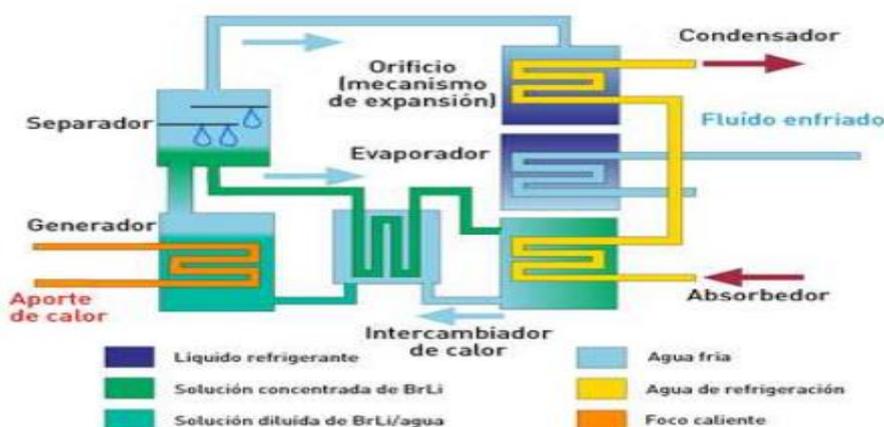


Figura 23 Planta de trigeración de refrigeración por absorción.

Fuente Jorge Naranjo Delgado 2010.

3.2.2 Componentes y sistemas de una planta de trigeración.

Los componentes y sistemas utilizados en la trigeración son los de una planta de cogeneración, más un sistema de absorción cuya función es la producción de frío, a este equipo se le denomina: Máquina de absorción

En los tipos de cogeneración que ya se vio anteriormente, que son varios, donde se integran estas máquinas de absorción frecuentemente son en los sistemas o tecnologías que contienen motores alternativos o turbinas gas, ya sea este en ciclo simple o combinado.

3.2.3 Ventajas.

Al optar las industrias por implementar este tipo de plantas de trigeración de una manera correcta, se obtendrá varias ventajas importantes, ya que las industrias son caracterizadas por tener gran cantidad de demanda en energía eléctrica y térmica (en forma de calor y frío). Estas ventajas pueden ser similares o superiores a las de la cogeneración

Similares porque las ventajas de la cogeneración son las mismas que tiene la trigeneración y superiores en las siguientes ventajas:

- ✓ Aprovecha los calores residuales, para que estos no sean enviados al medio ambiente a altas temperaturas (protección al medio ambiente).
- ✓ Los equipos de absorción pierden muy poco rendimiento a diferencia de otros equipos, como los de compresión.
- ✓ Complementan a las plantas de cogeneración en tiempos de verano y usos refrigerantes.
- ✓ Tecnología silenciosa y sin vibraciones por la máquina de absorción.

3.2.4 Desventajas.

- ✓ La asesoría y consultoría de la cogeneración con trigeneración para su puesta a marcha, genera una inversión.
- ✓ La inversión adicional que tiene la trigeneración por su implementación y los equipos que contiene la misma.
- ✓ El mantenimiento que requieren estas plantas.

Al optar las industrias por implementar este tipo de plantas de trigeneración de una manera correcta, no existe muchas desventajas, en realidad las que sobresalen son las ventajas.

3.3 Norma ISO 50001.

ISO 50001 (Organización Internacional para la Estandarización u Organización Internacional de Normalización), Sistema de Gestión de la Energía, está basado en el modelo ISO en el cual se aplican normas como la ISO 9001 y la ISO 14001, gestión de calidad y gestión ambiental, respectivamente.

La ISO 50000 tiene como objetivo ofrecer beneficios a organizaciones, empresas grandes, pequeñas, ya sea en el sector público o privado, y a la sociedad con herramientas prácticas para el desarrollo sostenible tales como: económica, ambiental y social.

La energía hoy en día representa una parte fundamental para todas las empresas, por lo que también representa un costo importante para ellas. En base a esto es que esta norma esta aplicada en todo el mundo, por lo que se puede hacer cambios positivos en un futuro para todo tipo de organizaciones, empresas, industrias, etc.

La norma ISO 50001 facilitara a las organizaciones y empresas, del sector público o privado ideas para aumentar y mejorar la eficiencia energética y la reducción de costos.

3.3.1 Importancia.

El consumo de energía eléctrica es fundamental para el desarrollo de las actividades distintas que realicen las industrias, por lo que representa un costo importante para las mismas. A más de los costos económicos en energía eléctrica para las industrias, existen también costos ambientales que provocan cambios climáticos.

Aquí la importancia de la norma que permite mejorar el rendimiento energético y proporcionar beneficios significativos para las industrias

3.3.2 Función.

En específico la norma ISO 50001 cumple el proceso que es, planificar, hacer, verificar y actuar, como forma de mejora continua en la gestión de energía.

Planificar, hace referencia a la realización, revisión, y establecer los indicadores de rendimiento eléctrico o energético, también hace referencia a los objetivos, metas y planes necesarios para obtener resultados positivos en eficiencia energética.

Hacer, es poner en práctica las metas y planes para la obtención de una mejor eficiencia energética.

Verificar, monitorear y medir los procesos mencionados y sus objetivos, e informar los resultados obtenidos.

Actuar, tomar acciones que permitan mejorar continuamente la eficiencia energética.

La gestión energética en las industrias tiene una importancia de gran magnitud. El grandísimo aumento que existe de ciudades, empresas, industrias, etc. Conlleva a reflexionar en el consumo de la energía.

Es fundamental reflexionar sobre la eficiencia energética en las industrias con el fin de brindar un futuro mejor a las generaciones por venir. El cambio climático que existe hoy en día es injusto porque las industrias consumen combustibles fósiles, combustibles que se estan acabando y por ende ocasionan graves daños ambientales y no recurren al uso de energías renovables o nuevas tecnologías que evitan ese daño al medio ambiente.

La Agencia Internacional de Energía (IEA) mediante estudios realizados evaluó que al implementar normas internacionales sobre la gestión de energía en las industrias esto puede contribuir un ahorro de energía en todo el mundo hasta de un 60%.

Es por eso la propuesta de la cogeneración y trigeneración.

CAPITULO IV

4. ANALISIS Y RESULTADOS.

En este capítulo se va a desarrollar el diseño y el cálculo de instalación de cogeneración y trigeneración. Para realizar estos cálculos, se necesitan los datos necesarios de las industrias (obtenidos mediante una encuesta realizada a las mismas), para llevar a cabo el estudio de implementación adecuado y/o correcto de estas tecnologías, obteniendo como resultado mejores condiciones de operación en la industria.

Por un convenio de confiabilidad realizado con las industrias se ha optado por no dar a conocer el nombre de las mismas, por lo tanto se les llamara a estas dos industrias:

- Industria A
- Industria B

Estas dos industrias que se han elegido son las más adecuadas para implementar estas tecnologías. Para la industria A se implementara la tecnología de cogeneración y para la industria B la de trigeneración, para así poder tener un ejemplo claro de cómo funciona la cogeneración y trigeneración.

4.1 Industria A (cogeneración).

Tabla 3 Datos de la industria A

NOMBRE de la INDUSTRIA	INDUSTRIA A
UBICACIÓN	CUENCA (Parque industrial)
ACTIVIDAD PRINCIPAL	Producción de papel

Fuente Elaboración propia.

4.1.1 Procesos de la industria.

1- Fabricación de la pasta

Para la fabricación de la pasta se debe tomar en cuenta que los procesos difieren tanto en el rendimiento como en la calidad del producto.

2- Pasta mecánica

Se produce aplastando la madera entre placas metálicas separando así las fibras. La proporción de madera inicial en la pasta tiene un rendimiento superior al 85%, se utiliza otros métodos mecánicos de formación de pasta, como la utilización de productos químicos teniendo un rendimiento menor porque existe una mayor eliminación de materiales.

3- Pasta química y recuperación.

La pasta química se obtiene al separar químicamente la lignina sin ningún daño, entendiendo como lignina una sustancia natural que forma parte de la pared celular las células vegetales, a las cuales da dureza y resistencia.

Al ser eliminados en este proceso varios componentes, se obtiene un rendimiento normalmente de 40 a 55%

4- Procedimiento de sulfato y recuperación

En este procedimiento se llega a obtener una pasta más fuerte de color oscuro, en la cual también debe haber una recuperación química para que este proceso tenga una mejor rentabilidad económica.

5- Blanqueo

Proceso de refinar y aclarar la pasta en bruto, disolviendo pata química o modificando pasta mecánica. Todos los pasos de blanqueo son definidos por su agente blanqueador, la acidez, la temperatura y duración. Después de todas estas etapas se realiza un lavado que elimine cualquier tipo de contaminante siendo así trasladado al almacenamiento.

4.1.2 Calculo de la demanda eléctrica.

La demanda eléctrica es básicamente el consumo que existe en los diferentes aparatos y maquinas eléctricas en funcionamiento.

Se va desarrollar el cálculo del consumo eléctrico a través de las planillas o facturas eléctricas de la industria.

4.1.3 Consumo eléctrico de la industria.

Se va a tomar en cuenta los consumos eléctricos de la industria de los meses del año 2016, consumos que se obtendrán mediante las planillas o facturas eléctricas de la industria.

Tabla 4 Consumo eléctrico del año 2016 en la industria

MESES	CONSUMO kWh	CONSUMO \$
ENERO	193.152	36.126,12
FEBRERO	208.335	38.397,37
MARZO	203.369	37.614,80
ABRIL	205.689	29.008,62
MAYO	200.12	26.121,92
JUNIO	233.131	29.836,66
JULIO	262.407	43.440,52
AGOSTO	278.295	51.663,75
SEPTIEMBRE	272.348	31.723,81
OCTUBRE	239.89	34.604,90
NOVIEMBRE	235.023	31.051,20
DICEMBRE	194.924	29.275,07
TOTAL	2.726.683	418.864,74

Fuente Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla el consumo no sobrepasa los 2.750 KW/año.

4.1.4 Elección de la tecnología.

Todos los datos que se vean desde ahora son los datos facilitados por la industria, “ver [1]”. Esta industria va a tener una cogeneración a pequeña escala por qué como se ve tiene un consumo aproximado o cercano a 3MW y esa potencia está considerada como cogeneración a pequeña escala.

600KW es la potencia eléctrica que tiene contratada la industria. Como se vio en el capítulo anterior el consumo de la industria es uno de los parámetros importantes para la elección de la tecnología o ciclo, en este caso la potencia de consumo es casi de 3MW.

Entonces se opta por la tecnología de motor de combustión interna con energía primaria gas natural ya que en este caso es la que dará mejores resultados. Esta tecnología tiene un rendimiento aproximado de 35 a 45%.

Tabla 5 Datos importantes de un motor de combustión interna

Factores Clave: Motores de Combustión Interna	
Rango de Capacidad	1kWe a 10 Mwe
Eficiencia Eléctrica	35-45%

Fuente Industria y minería cogeneración.

La eficiencia global de esta tecnología puede subir hasta más del 85% por el rendimiento térmico del motor, es decir según como usemos la energía térmica generada será la eficiencia global, siendo el punto más importante para la inversión económica de la instalación de esta tecnología.

Ya teniendo claro la tecnología a utilizarse (motor de combustión interna), se continúa a definir las dimensiones, valores de inversión y ahorros económico y energéticos.

Datos que se consideran:

- Potencia contratada
- Demanda eléctrica anual
- Demanda térmica anual
- Horas de funcionamiento
- Consumo anual de combustible
- La electricidad auto producida por el equipo anual, y el nuevo consumo de combustible anual

Datos facilitados por la industria.

Se tiene que comprobar que esta tecnología cumpla con la condición de autogeneración según la normativa vigente:

El rendimiento de la instalación que produce energía térmica y eléctrica simultáneamente se calcula con la fórmula:

$$REE = \frac{E + V}{Q}$$

Donde:

REE= Rendimiento eléctrico equivalente

E= Electricidad generada en los terminales del alternador [kWh]

V= Demanda térmica anual de la instalación [kWh]

Q= Consumo anual de energía primaria, en relación al poder calorífico inferior (PCI) del combustible usado [kWh]

Por lo general el rendimiento térmico es de 90%, por lo que el REE es igual a:

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0,9}}$$

Este rendimiento eléctrico equivalente (REE) es el rendimiento que se compara con una planta que genera solo energía eléctrica, sin tomar en cuenta la energía térmica, es decir este

rendimiento permite comparar la eficiencia eléctrica de la tecnología de cogeneración con el rendimiento eléctrico de una planta que genera solo energía eléctrica.

Según el régimen especial regulado, el rendimiento eléctrico equivalente (REE) de la instalación debe ser igual o superior al que corresponda según la tabla que se ve a continuación:

Tabla 6 Rendimiento eléctrico de los diferentes tipos de combustible.

Tipos de Combustible	REE %
Combustible líquido en centrales con calderas	49
Combustible líquido en motores térmicos	56
Combustible Sólidos	49
Gas natural y GLP en motores térmicos	55
Gas natural y GLP en turbinas de gas y otras tecnologías	59
Otras tecnologías y/o combustibles	59

Fuente Estudio de viabilidad para la cogeneración.

En este caso la energía primaria a utilizar es el gas natural, lo que el rendimiento debe ser igual o superior al 55% (REE > 0,55).

Para el estudio del balance energético, se compara el costo de una instalación convencional con el de cogeneración, obviamente que la instalación de cogeneración debe ser más rentable que la convencional.

Para el cálculo del ahorro de energía primaria se obtiene mediante esta fórmula:

$$AEP = \left(2,926 - \frac{1}{REE}\right) = - \left(2,926 - \frac{Q - \frac{V}{0,90}}{E}\right) \quad [kWh_t/kWh_e]$$

En porcentaje

$$AEP = \frac{\left(2,926 - \frac{1}{REE}\right)}{2,926} * 100 = \frac{\left(2,2,926 - \frac{Q - \frac{V}{0,90}}{E}\right)}{2,926} * 100 \quad [%]$$

Donde:

AEF = Ahorro de Energía Primaria [kWht/kWhe] [%].

Q = Consumo anual de energía primaria, en relación al PCI del combustible [kWht].

V = Demanda térmica anual de la instalación [kWht].

Electricidad generada anualmente por el alternador [kWhe]

Para poder determinar el ahorro de energía primaria se compara el consumo específico de una central de cogeneración y de una central convencional que usen el mismo combustible.

Una central convencional que tenga como energía primaria gas natural suele tener un rendimiento de 34,5% esto equivale a un consumo específico de 2,926 kWhe/kWht.

Ahorro neto anual

Este ahorro es el que se espera obtener con la inversión de la cogeneración con respecto a la convencional.

$$ANA = C_{conv} - C_{cog} + B_{elect} \quad [\$]$$

Donde:

ANA= Ahorro Neto Anual [\\$].

C_{conv}= Costo de una instalación convencional, calculada teniendo en cuenta el costo del combustible, de la electricidad y mantenimiento de la instalación [\\$].

$$C_{conv} = C_{comb} + C_{elect} + C_{oper+mta}$$

C_{cog}= Costo de la instalación de cogeneración, calculado teniendo en cuenta el costo del combustible, de la electricidad y de los costos de operación y mantenimiento de la instalación y restándole los ingresos por la venta de electricidad [\\$].

$$C_{cog} = C_{comb} + C_{elect} + C_{oper+mta} \quad [\$]$$

C_{comb}= Costo del combustible [\\$].

C_{oper+mta}= Costo de operación y mantenimiento, de la instalación convencional en el primer caso y de la planta de cogeneración en el segundo [\\$].

B_{elect}= Beneficio de la electricidad vendida a la red [\\$].

4.1.5 Calculo del beneficio de la electricidad vendida.

Existen dos formas de vender electricidad en la cogeneración.

La primera forma u opción es ceder la electricidad a las redes de distribución, obteniendo a cambio una tarifa regulada estable para todos los periodos.

Tabla 7 Precio de venta de electricidad.

Potencia	Tarifa regulada (centavos de \$/kWh)
$P \leq 0,25 \text{ MW}$	21,12
$0,5 \leq P \leq 1\text{MW}$	17,33
$1\text{MW} \leq P \leq 10\text{MW}$	14,05
$10\text{MW} \leq P \leq 25\text{MW}$	13,38
$25\text{MW} \leq P \leq 50\text{MW}$	12,79

Fuente Elaboración propia.

La segunda opción es vender la electricidad en el mercado de producción de energía eléctrica, el precio en el que se venda será el precio que resulte en el mercado o un precio negociado, la tarifa será de céntimos de dólares por kWh.

4.1.6 Rentabilidad interna (RI).

También conocida como rendimiento de una inversión se define como la tasa interna de retorno de una inversión.

$$RI = \frac{ANA}{I} * 100 \quad [\%]$$

Donde:

RI = Rentabilidad interna [%].

I = Inversión inicial de la instalación de cogeneración [\$].

ANA= Ahorro Neto Anual [\$].

4.1.7 Tiempo de retorno simple.

Es el tiempo en cual se ven los beneficios de un proyecto que sean iguales a la inversión inicial.

$$TRS = \frac{I}{ANA} \quad [\text{años}]$$

Donde:

TRS = Tiempo de Retorno Simple [años].

I = Inversión inicial de la instalación de cogeneración [\\$].

ANA = Ahorro Neto Anual [\\$].

4.1.8 Coste del kWh.

$$C_{kWh} = \frac{C_{comb} + C_{oper+mto}}{E} \left[\frac{\$}{kWh} \right]$$

Donde:

C_{kWh}= Coste del kWh producido por el sistema de cogeneración. [\$/hWhe]

C_{comb}= Coste anual del combustible. [\\$]

C_{oper+mto}= Coste anual de operación y mantenimiento. [\\$]

E= Energía eléctrica generada anualmente por el alternador.

4.1.9 Consumo de combustible en las industrias.

Tabla 8 Consumo y costo de gas natural de la industria en el año 2016.

CONSUMO DE GAS NATURAL		COSTO DE GAS NATURAL	
2016 (m3)	2016(kWh)	2016 (m3)	2016(\$)
68.838	812.657	68.838	41.059

Fuente Elaboración propia.

El precio que se tiene como referencia del costo de la energía prima (gas natural) es de 0.067\$/kWh, (PETROECUADOR).

4.1.10 Costo de electricidad consumida en la industria.

Con los datos facilitados por la industria tenemos los costos del año 2016:

Tabla 9 Costo de la energía eléctrica del año 2016 en la industria.

COSTO DE LA ELECTRICIDAD	
2016 (kWh)	2016(\$)
2726683	418 864,74

Fuente Elaboración propia.

El precio que se tiene como referencia del costo de la energía eléctrica es de 9,01\$/kWh, (ARCONEL).

4.1.11 Costos anuales de la instalación actual de la industria.

Como se vio anteriormente los costos totales de industria del año 2016 son:

Tabla 10 Costo anual de la instalación cogeneración en la industria.

COSTO DE LA INSTALACION ACTUAL DE LA INDUSTRIA \$	
GAS NATURAL	41,059
ELECTRICIDAD	418,864
TOTAL	459,923

Fuente Elaboración propia.

4.1.12 Instalación de cogeneración.

Como se vio anteriormente 600KW es la potencia eléctrica que tiene contratada la industria, por lo que se debe elegir un motor que cumpla con esa característica:

Tabla 11 Datos técnicos del motor a utilizar (modelo Caterpillar CG132-12).

Motor	CATERPILLAR
Modelo	CG132-12
Potencia eléctrica	600 KW
Rendimiento eléctrico	42%
Potencia térmica	654 KW
Rendimiento térmico	45,8%
Q/E	1,09 kWt/kWe
Poder calorífico inferior del combustible	10,54 kWh
Consumo de gas natural	1 428 KW
Rendimiento total	87,8%
Potencia térmica recuperada de los gases de escape	340 KW
Potencia térmica recuperada del sistema de refrigeración	314 KW
Energía térmica a disipar en el circuito de baja temperatura	40 KW
Caudal masivo de aire	3 173 kg/h
Temperatura máxima en el intercooler	40°C
Caudal de agua caliente	35 m3/h
Temperatura de salida de agua caliente	92°C
Caudal de gases de escape	3 290 kg/h
Temperatura de gases de escape a plena carga	457°C
Temperatura de gases de escape a la salida de la chimenea	120°C

Fuente Estudio de viabilidad de un sistema de cogeneración.

4.1.12.1 Programa de funcionamiento del motor.

La planta de cogeneración no siempre va a estar generando energía eléctrica porque va haber momentos en los cuales van existir paras por fallas o por motivos de mantenimiento, es decir no va a haber un 100% de generación de energía eléctrica, por los motivos mencionados habrá un 97% de funcionamiento que más o menos equivale a 72 horas de para al año (3 días).

$$\text{Horas de producción de electricidad} = (8\,760 - 72) * 0,97 = 8\,427 \text{ horas}$$

$$\text{Producción de energía eléctrica anual} = 600kW * 8\,427 = 5.056\,200 \text{ kWhe/año}$$

$$\text{Recuperación de calor del motor} = 54kW * 8\,427 = 5.511\,258 \text{ kWht/año}$$

$$\text{Consumo de combustible anual} = 1\,428kW * 8\,427 = 12.033\,756 \text{ kWh/año}$$

Se va a colocar todos los datos obtenidos anteriormente en una tabla, para luego utilizarlos de una manera facil para los siguientes calculos.

Tabla 12 Datos de consumos anuales en la industria.

BALANCE ENERGÉTICO ANUAL DE LA INSTALACIÓN	
ELECTRICIDAD GENERADA	5.056 200 Kwe/año
DEMANDA TÉRMICA ANUAL	3.509 134 kWt/año
CONSUMO DE GAS NATURAL	1.203 3756 kWt/año

Fuente Elaboración propia.

4.1.13 Rendimiento eléctrico equivalente (REE).

$$REE = \frac{E}{Q - \frac{V}{0,9}}$$

$$REE = \frac{5.056\,200}{12.033\,756 - \frac{3.509\,134}{0,9}}$$

$$REE = 0,621$$

Claramente se ve que el REE cumple con la condición o el régimen en el que dice que debe ser superior al 55%, se puede decir que la tecnología aplicada en la industria está correctamente diseñada para su implementación.

Ahorro de energía primaria

$$AEP = \left(2,926 - \frac{1}{REE} \right) =$$

$$AEP = \left(2,926 - \frac{1}{0,621} \right) =$$

$$AEP = 1,315 \quad [kWh_t/kWh_e]$$

Ahorro de energía primaria en porcentaje

$$AEP = \frac{\left(2,926 - \frac{1}{REE} \right)}{2,926} * 100$$

$$AEP = \frac{(2,926 - 1,61)}{2,926} * 100$$

$$AEP = 45 \quad \%$$

Siendo este valor (45%) el ahorro de energía primaria de cogeneración a comparación de una central convencional.

Inversiones

Para la implementación de esta tecnología de cogeneración se utilizó:

Un motor con todos los elementos complementarios que según lo investigado está valorado en costo de 350168 \$ más los costos de ingeniería que se estima en un valor de \$ 56277, que da como resultado una inversión inicial para esta tecnología de cogeneración de \$ 406445.

4.1.14 Costo anual de la implementación de esta tecnología de cogeneración.

Costo de combustible

$$\text{Costo anual gas natural} = 12.033\,756\text{ kW} * 0,067 \frac{\$}{\text{kW}} = \$ 806\,261,65$$

Costo de mantenimiento

El mantenimiento de esta tecnología está valorado en \$ 7 por hora de funcionamiento.

$$\text{Costo de mantenimiento} = 7 \frac{\$}{h} * 8\,427h = \$ 58\,989$$

Costo de la electricidad consumida a la red

Cuanto existen paradas por fallas en la red o por mantenimiento, la industria deberá alimentarse por medio de la red, teniendo este un valor de unos \$ 5000.

Coste anual total de la instalación de cogeneración

Sumando todos los valores o costos encontrados anteriormente nos da como resultado un costo de \$ 870250,65 por año.

4.1.15 Beneficios resultantes de la venta de electricidad sobrante.

La electricidad sobrante es la diferencia entre la electricidad que produce nuestra tecnología de cogeneración versus la electricidad que consume la industria.

Anteriormente se calculó que la le electricidad producida por la cogeneración es de 5056200 kWh. Mientras que el consumo de la industria en el año 2016 es de 2726683 kWh (datos facilitados por la industria)

Resolviendo queda:

$$5.056\,200 - 2.726\,683 = 2.329\,517\text{ kWh}$$

Según la legislación vigente el valor de venta de electricidad de la tecnología cogeneración es de 17,34 centavos de \$ por cada kWh.

$$\text{Beneficio anual} = 2329517\text{ kWh} * \frac{0,1734\$}{\text{kWh}} = \$ 403\,938,24$$

4.1.16 Ahorro neto anual.

Se define el ahorro neto anual como la diferencia entre la instalación existente o convencional y el de la instalación de cogeneración más los beneficios de la misma, entiendo por esos beneficios la venta de electricidad sobrante.

$$\text{Ahorro neto anual} = \$503\,132 - \$870\,250,65 + \$403\,938,24 = \$36820,24$$

Rentabilidad interna

$$RI = \frac{ANA}{I} * 100$$

$$RI = \frac{36820,24}{406.445} * 100$$

$$RI = 9 \%$$

Tiempo de retorno simple

$$TRS = \frac{I}{ANA}$$

$$TRS = \frac{406.445}{36820,24}$$

$$TRS = 11,03 \approx 11 \text{ años}$$

4.2 Industria B (trigeneración).

Tabla 13 Datos de la industria B.

NOMBRE de la INDUSTRIA	INDUSTRIA B
UBICACIÓN	CUENCA (Parque industrial)
ACTIVIDAD PRINCIPAL	Producción de lácteos

Fuente Elaboración propia.

4.2.1 Procesos de la industria.

1- Recepción

En la recepción la leche se pesa siempre y cuando sea de buena calidad, para determinar la cantidad que ingresara al proceso. Luego se filtra mediante una tela muy fina para eliminar impurezas.

2- Análisis

A la leche se le realiza pruebas de porcentaje de grasa, antibiótico, sensorial y pruebas de acidez, es decir la leche tiene que pasar por un análisis para determinar si es buena para el proceso.

3- Formulación

En la formulación se dan los ingredientes, la cantidad de cada uno de los ingredientes y la función que cumple cada uno de estos ingredientes (datos).

4- Neutralización

Para la neutralización de acidez en la leche se coloca bicarbonato de sodio, teniendo como resultado en la leche un término neutro que ayuda a la formación del color típico de la leche.

5- Calentamiento

En este proceso la leche se calienta a fuego a una temperatura de 50°C, donde también se coloca almidón y se realiza la mezcla. Por último se coloca glucosa y azúcar.

6- Concentración

Se evapora una cantidad significativa de agua de la leche por lo que tiende a ser un poco demorado este proceso, una vez que la mezcla este espesa se procede hacer mediciones en °Brix hasta que se tenga la densidad deseada, estas mediciones se realizan con un refractómetro.

7- Batido y enfriado

Se bate fuertemente para el enfriamiento del producto con ayuda de un sistema de aire de refrigeración. Antes de esto obviamente se debió haber apagado la fuente de calor o fuego.

8- Envasado

El producto puede ser envasado en distintos materiales como polietileno, hojalata, madera, etc.

Como ya se vio la trigeneración en el capítulo anterior (marco teórico), esta vez de manera resumida se verá de qué se trata.

La trigeneración no es más que la cogeneración más un equipo llamado máquina de absorción. La máquina de absorción cumple la función de recuperar el calor del agua de refrigeración de las turbinas o motores de combustión interna (cogeneración). La misma que es utilizada como fuente de accionamiento del equipo o máquina de absorción.

Este sistema de absorción funciona a dos presiones, la presión alta y la presión baja. La presión alta funciona con el condensador y generador, y la presión baja funciona con el absorbedor y evaporador.

En la industria A se vio el cálculo para la implementación de cogeneración, ahora en la industria B se va a realizar solamente el cálculo del sistema o máquina de absorción, porque los demás cálculos son los mismos de la cogeneración.

Al igual que en la industria A para realizar estos cálculos, se necesitan los datos necesarios de las industrias, "ver [2]" para llevar a cabo el estudio de implementación adecuado y/o correcto de esta tecnología (sistema o máquina de absorción), obteniendo como resultado mejores condiciones de operación en la industria.

Todos los datos que se vean desde ahora son los datos facilitados por la industria.

El vapor de agua en el condensador es de 40°C, en las tablas de vapor indican que la presión de saturación es de 7,37kPa.

Mientras que el vapor de agua en el evaporador es de 4°C, en las tablas de vapor indican que la presión de saturación es de 0,814kPa. Siendo:

La presión alta 7,37kPa

La presión baja 0,813kPa.

4.2.2 Presiones de trabajo.

4.2.2.1 Solución concentrada a temperatura de generación y presión alta.

Para la concentración de la solución se tiene los datos de alta presión (7,37kPa) y el de la temperatura de generación (80°C). Estos datos ingresados en el diagrama de temperatura-presión - concentración de soluciones nos da como resultado un valor de $X_c = 0,53$.

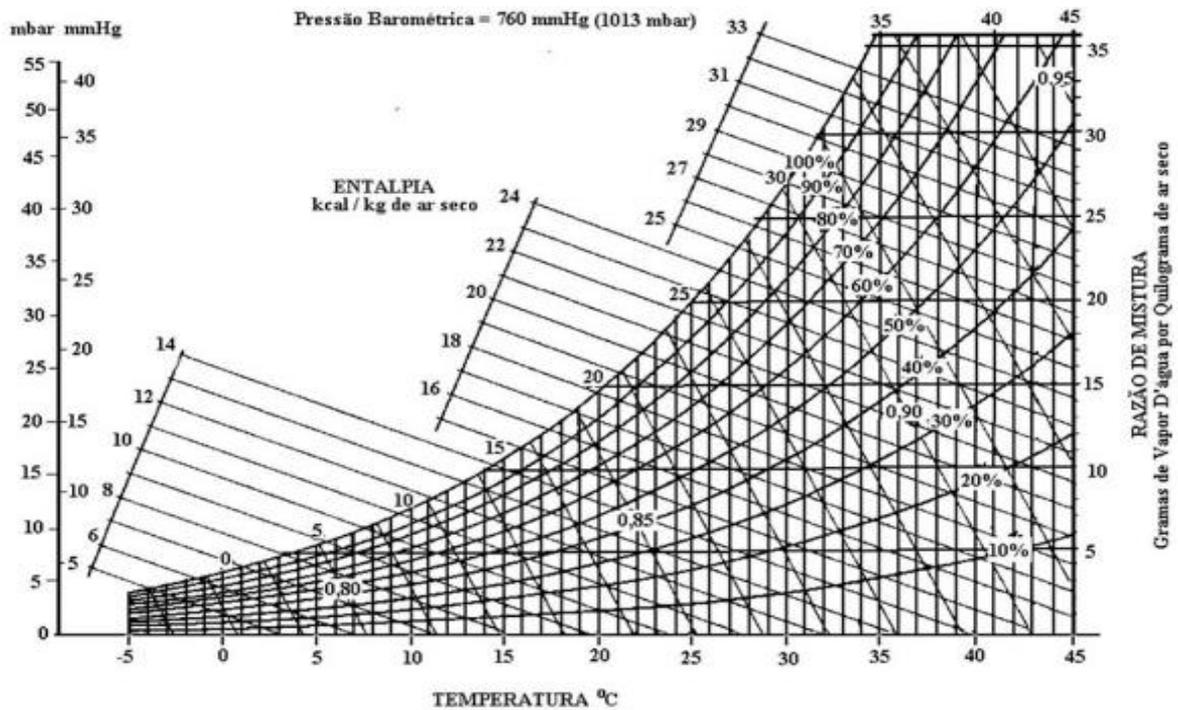


Figura 24 Diagrama de temperaturas-presión-concentración-de soluciones.

Fuente Estudio de viabilidad de un sistema de cogeneración.

4.2.2.2 Entalpias de los puntos característicos.

Para el cálculo de las entalpias de los puntos característicos, se realizara mediante un diagrama de entalpia.

Teniendo presente que la entalpia (H), es una cantidad de energía dentro de alguna sustancia que interpreta una medida termodinámica, medida que representa la proporción de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico.

- Vapor de agua a alta presión y temperatura de condensación.

Presión: $PA = 7,37 \text{ kPa}$

Temperatura: $tc = 40^\circ\text{C}$

Entalpia: $H1 = 2573,53 \text{ kJ/kg}$

- Agua líquida acabada de refrigerar a alta presión y a una temperatura de condensación.

Presión: $PA = 7,37 \text{ kPa}$

Temperatura: $tc = 40^\circ\text{C}$

Entalpia: $H2 = 167,48 \text{ kJ/kg}$

- Se produce un proceso de expansión isoentálpica debido al paso por la expansión. Presión baja y temperatura de evaporación. Toma el calor del agua para refrigeración. Tiene la misma entalpía que el punto 2.

Presión: $PB = 0,813 \text{ kPa}$

Entalpia: $H3 = H2 = 167,48 \text{ kJ/kg}$

- Vapor saturado seco a baja presión y temperatura de evaporación. Se absorbe en la solución diluyéndola debido a la gran afinidad LiBr-Agua. Se enfría para mejorar la absorción.

Presión: $PB = 0,813 \text{ kPa}$

Temperatura: $te = 5^\circ\text{C}$

Entalpia: $H4 = 2510,12 \text{ kJ/kg}$

- Solución diluida a la salida del absorbedor. Baja presión y temperatura de absorción.

Título: $xd = 0,54$

Temperatura: $ta = 30^\circ\text{C}$

Entalpia: $H5 = -180 \text{ kJ/kg}$

- Solución diluida a la salida de la bomba. Se desprecia el ligero aumento de presión. Temperatura de absorción, baja presión y misma entalpía que en el punto 5.

Entalpia: $H6 = H5 = -180 \text{ kJ/kg}$

- Solución concentrada a temperatura de generación y presión alta.

Título: $xc = 0,58$

Presión: $PA = 7,37 \text{ kPa}$

Temperatura: $tg = 80^\circ\text{C}$

Entalpia: $H8 = -85 \text{ kJ/kg}$

- Solución concentrada a la salida del intercambiador. Se cede calor a la solución diluida.

En este punto para poder calcular la entalpia se debe conocer el rendimiento térmico del intercambiador de soluciones (75%)

$$0,75 = \frac{t_8 - t_9}{t_8 - t_6}$$

$$t_9 = t_8 - 0,75 * (t_8 - t_6) = 80 - 0,75 * (80 - 30) = 42,5^\circ C$$

Donde:

$$t_8 = t_{gen} = 80^\circ C$$

$$t_6 = t_{abs} = 30^\circ C$$

$$x_c = 0,59$$

$$h_9 = -155 \text{ kJ/kg}$$

- Solución diluida a la entrada del generador. Alta presión.

En este punto para poder calcular la entalpia se debe realizar un balance energético en el intercambiador.

$$m_c * (h_8 - h_9) = m_d * (h_7 - h_6)$$

$$h_7 = \frac{m_c}{m_d} \cdot (h_8 - h_9) + h_6$$

Ecuación de continuidad (generador)

$$m_c * x_c = m_d * x_d$$

$$\frac{m_c}{m_d} = \frac{x_d}{x_c}$$

Entonces:

$$h_7 = \frac{m_c}{m_d} \cdot (h_8 - h_9) + h_6$$

Donde:

$$x_c = 0,59$$

$$x_d = 0,55$$

$$h_6 = -180 \text{ kJ/kg}$$

$$h_8 = -85 \text{ kJ/kg}$$

$$h_9 = -155 \text{ kJ/kg}$$

$$h_7 = \frac{m_c}{m_d} \cdot (h_8 - h_9) + h_6$$

$$h_7 = \frac{0,54}{0,58} \cdot (-85 - (-155)) + (-180)$$

$$h_7 = -114,82 \text{ kJ/kg}$$

- Solución concentrada a la salida de la válvula de estrangulación/entrada al absorbedor.

Este proceso debe ser isoentálpico, es decir mantener cierta cantidad cedida constante:

$$h_{10} = h_9 = -115 \text{ kJ/kg}$$

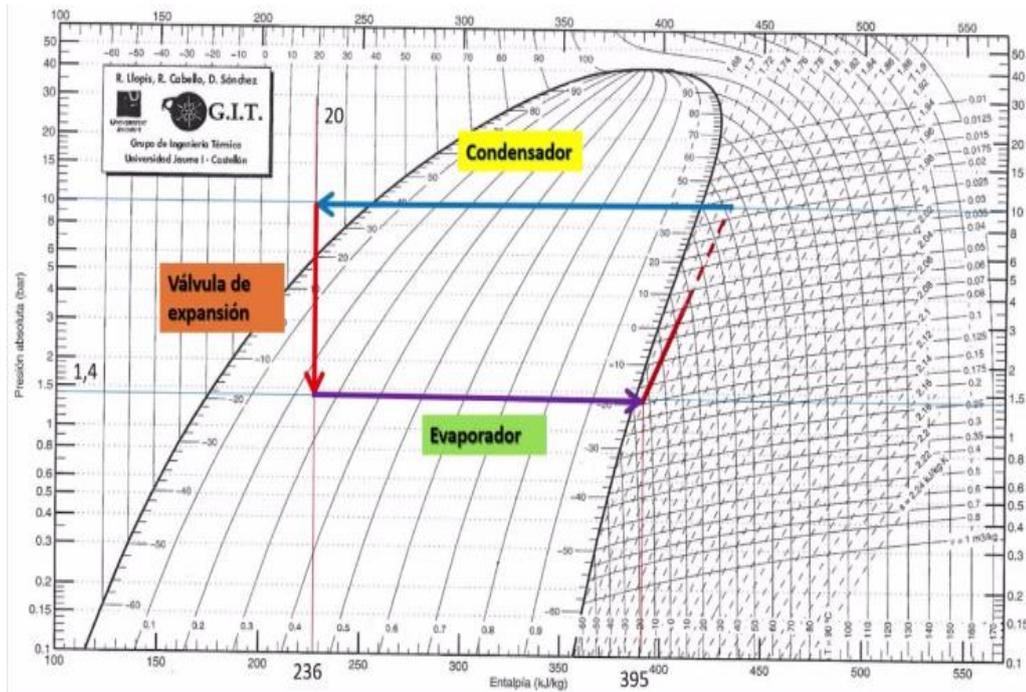


Figura 25 Diagrama de entalpías para soluciones LiBr.

Fuente Estudio de viabilidad de un sistema de cogeneración.

Las entalpías de los puntos característicos son:

- $H1 = 2573,53 \text{ kJ/kg}$
- $H2 = 167,48 \text{ kJ/kg}$
- $H3 = 167,48 \text{ kJ/kg}$
- $H4 = 2510,12 \text{ kJ/kg}$
- $H5 = -180 \text{ kJ/kg}$
- $H6 = -180 \text{ kJ/kg}$
- $H7 = -114,74 \text{ kJ/kg}$
- $H8 = -85 \text{ kJ/kg}$
- $H9 = -115 \text{ kJ/kg}$
- $H10 = -155 \text{ kJ/kg}$

4.2.2.3 Flujo masivo del refrigerante

Para el cálculo del flujo masivo del refrigerante se tiene:

$$m_r = \frac{Q_e}{(h_4 - h_3)}$$

$$m_r = \frac{690}{(2510,13 - 167,49)}$$

$$m_r = 0,29 \text{ kg/s}$$

4.2.2.4 Flujo masivo de la solución diluida

$$m_r + m_c = m_d$$

$$m_c * x_c = m_d * x_d$$

$$m_d = m_r + m_d \cdot \frac{x_d}{x_c} \rightarrow m_d = \frac{m_r}{1 - \frac{x_d}{x_c}}$$

$$m_d = \frac{m_r}{1 - \frac{x_d}{x_c}}$$

$$m_d = \frac{0,29}{1 - \frac{0,54}{0,58}}$$

$$m_d = 4,20 \frac{kg}{s}$$

$$m_c = m_d \cdot \frac{x_d}{x_c}$$

$$m_c = 4,20 \cdot \frac{0,54}{0,58}$$

$$m_c = 3,91 \text{ kg/s}$$

A continuación calcularemos cada una de las potencias

- Potencia térmica absorbida en el evaporador

$$Q_e = 690 \text{ kW}$$

- Potencia térmica cedida en el condensador

-

$$Q_c = m_r * (h_1 - h_2)$$

$$Q_c = 0,29 * (2573,54 - 167,49)$$

$$Q_c = 697,75 \text{ kW}$$

- Potencia térmica cedida en el absorbedor

$$Q_a = m_r * h4 + m_c * h10 - m_d * h5$$

$$Q_a = 0,29 * 2510,12 + 3,91 * (-155) - 4,20 * (-180)$$

$$Q_a = 877,88 \text{ kW}$$

- Potencia térmica necesaria en el generador

$$Q_g = m_r * h1 + m_c * h8 - m_d * h7$$

$$Q_g = 0,29 * 2573,53 + 3,91 * (-85) - 4,20 * (-114,82)$$

$$Q_g = 896,21 \text{ kW}$$

4.2.2.5 Coeficiente de operación (COP).

Entendiendo como COP la relación entre la potencia de salida de la cogeneración y la potencia que suministra el compresor.

$$COP = \frac{Q_e}{Q_g}$$

$$COP = \frac{690}{896,21}$$

$$COP = 0,7$$

El COP en este caso muestra la relación que existe entre la capacidad de refrigeración y la energía térmica suministrada al generador.

4.2.3 Estudio económico.

4.2.3.1 Inversión.

Para la implementación de un sistema o máquina de absorción (721kW), según lo investigado está valorado en costo de \$ 275132.

4.2.3.2 Costo eléctrico de la instalación actual.

La industria tiene varios enfriadores las cuales están divididas en principales (3) y secundarias (varios), con un consumo total del sistema de refrigeración de 374,3kWe.

Para poder determinar el consumo eléctrico anual se debe conocer el tiempo de funcionamiento del sistema o máquina de absorción, esto dependerá mucho del país en cual vaya a ser implementado, en nuestro caso (Ecuador) los meses que se tomaran en cuenta es desde el mes de junio al mes de diciembre, durante estos meses no siempre se utilizara la carga máxima por lo que se determina un factor de 0,65.

$$\begin{aligned} \text{Costo eléctrico anual} &= 374,3\text{Kw} * 0,65 * 6(\text{meses}) * 30 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} * \frac{24\text{h}}{\text{dia}} \\ &= 1.051\ 034,40 \text{ kWhe/año} \end{aligned}$$

El costo eléctrico anual de la instalación actual para refrigeración según la tarifa del año 2016 de la industria es de \$ 166011,71.

4.2.3.3 Costo de instalación eléctrica de máquina de absorción.

Se tiene una máquina de absorción de consumo eléctrico 5,9kW

$$= 5,9\text{kW} * 0,65 * 6(\text{meses}) * 30 \frac{\text{dias}}{\text{mes}} * \frac{24\text{h}}{\text{dia}} = 16\ 567,20 \text{ kWhe/año}$$

La máquina de absorción tiene un costo de \$ 2616,80 según la tarifa del año 2016.

4.2.3.4 Ahorro neto anual.

Se define el ahorro neto anual como la diferencia entre la instalación de un sistema o máquina de absorción y el de la instalación de refrigeración actual.

$$ANA = \$166\ 011,71 - \$2\ 616,80 = \$163\ 395$$

4.2.3.5 Rentabilidad interna.

$$RI = \frac{ANA}{I} * 100$$

$$RI = \frac{163\ 395}{275\ 132} * 100$$

$$RI = 59,38 \%$$

4.2.3.6 Tiempo de retorno simple (TRS).

El TRS nos hace saber el tiempo necesario para que amortice la inversión:

$$TRS = \frac{I}{ANA}$$

$$TRS = \frac{275\ 132}{163\ 395}$$

$$TRS = 1,7 \approx 2 \text{ años}$$

Se realizó una tabla que contiene los datos tanto de cogeneración como de trigeneración para poder visualizar de una manera resumida cada uno de valores técnicos como económicos.

Tabla 14 Resumen de los estudios de implementación de la cogeneración y regeneración.

COGENERACIÓN	TRIGENERACIÓN
DEMANDA ELECTRICA ANUAL KWh	DEMANDA ELECTRICA ANUAL KWh
418.865	1051034
DEMANDA TERMICA ANUAL KWh	DEMANDA TERMICA ANUAL KWh
318.166,41	1.937.520
POTENCIA CONTRATADA DE LA INDUSTRIA	POTENCIA CONTRATADA DE LA INDUSTRIA
600 KW	600KW
TECNOLOGIA USADA	TECNOLOGIA USADA
motor de combustión interna	máquina de absorción
TIPO DE COMBUSTIBLE	TIPO DE COMBUSTIBLE
gas natural	gas natural
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	CONSUMO DE COMBUSTIBLE
812.657	374,3
COSTO DE COMBUSTIBLE	COSTO DE COMBUSTIBLE
41.059	41.059
MOTOR A UTILIZARCE	MOTOR A UTILIZARCE
Caterpillar CG132-12	_____
ELECTRICIDAD GENERADA CON COGENERACION	ELECTRICIDAD GENERADA CON TRIGENERACION
5056200 KWe/año	5.042.400 kWe/año
ENERGIA TERMICA ANUAL CON COGENERACION	ENERGIA TERMICA ANUAL CON TRIGENERACION
3509134 KWt/año	6.024.175 kWt/año
GAS NATURAL ANUAL CON COGENERACION	GAS NATURAL ANUAL CON TRIGENERACION
12033756 KWt/año	12.000.912 kWt/año
INVERSION	INVERSION
\$ 406445	\$ 275132
AHORRO NETO ANUAL	AHORRO NETO ANUAL
\$ 36820	\$ 163395

Fuente Elaboración propia.

CAPITULO V.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Conclusiones

- La gestión de energía tiene como objetivo ser un negocio ambiental, económico, y de seguridad energética de gran magnitud, siendo precisamente lo que se busca en las nuevas normas internacionales.
- La tecnología cogeneración permite aprovechar el calor que es desperdiciado por que no puede ya transformarse en energía eléctrica para otros usos como calefacción, aguas calientes, etc.
- La tecnología trigeneración permite sustituir a los compresores que son utilizados en las plantas convencionales por una máquina de absorción, esta máquina permite generar frio para usos como aire acondicionado, congelamiento, etc.
- El combustible utilizado en estas tecnologías será mucho menor al consumo de combustible de una planta convencional.
- Estas tecnologías (cogeneración y trigeneración), ayudaran a las industrias a tener un ahorro de energía eléctrica, una menor contaminación al medio ambiente, una mayor rentabilidad, mejores condiciones de trabajo entre la principales y varios beneficios más.
- Para la realización de cálculos de potencial de estas tecnologías se necesita varia información de las características de las industrias, que son necesarias para realizar estos cálculos como se vio anteriormente. Información que es difícil acceder porque las industrias no facilitan con esta información necesaria.
- Resolviendo al capítulo de análisis y resultados se llega a concluir que estas tecnologías tienen un costo de implementación significativo, pero al mismo tiempo es viable tanto en lo económico como tecnológicamente.

5.2 Recomendaciones

- Instruir a los dueños o encargados de las industrias en el tema de eficiencia energética.
- informar las características principales de estas tecnologías y los beneficios de las mismas en sus industrias.
- Es necesario que las industrias tengan, tanto un consumo eléctrico como térmico para su implementación.
- Las industrias deben tener varias horas de funcionamiento (el mayor que se pueda), para un mayor rendimiento eléctrico equivalente.
- Tener en cuenta la disponibilidad del combustible a utilizarse, que existente en grandes cantidades y que sea económico.
- Para la elección de la tecnología se debe saber las necesidades eléctricas y térmicas de la industria, si la industria no tiene demanda de refrigeración se opta por la tecnología de cogeneración, caso contrario se optaría por la tecnología trigeneración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Barbero, E. (11 de 05 de 2012). *DISEÑO Y CALCULO ELECTRICO DE UNA PLANTA DE COGENERACION AL CAMP DE TARRAGONA*. Obtenido de DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRONICA ELECTRICA Y AUTOMATICA: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1554pub.pdf>
- Cañar, D. (19 de 08 de 2014). *ENERGIA SOLAR TERMICA PARA GENERACION DE ELECTRICIDAD EN EL ECUADOR*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE CUENCA: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20895/1/Tesis.pdf>
- Caramés, T. (03 de 10 de 2012). *DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA INSTALACION DE COGENERACION CON TURBINA DE GAS*. Obtenido de ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE NAUTICA: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1532/Teresa%20Caram%C3%A9s%20Bartolom%C3%A9.pdf?sequence=1>
- Cuadra, V. (14 de 07 de 2012). *ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE TRIGENERACION PARA UN HOSPITAL*. Obtenido de DIPLOMATURA EN MAQUINAS NAVALES: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/22469/TFC%20Trigeneracion.pdf?sequence=1>
- Fraille, D. (25 de 11 de 2008). *COGENERACION, ASPECTOS TECNOLOGICOS*. Obtenido de GESTION EFICIENTE DE LA ENERGIA: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45276/componente45275.pdf
- García , J. (03 de 06 de 2014). *DISEÑO Y CALCULO DE UNA PLANTA DE COGENERACION EN LA CANTERA* . Obtenido de ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGIA: http://oa.upm.es/32876/1/PFC_Jorge_Garcia_Perez_a.pdf
- García, S. (12 de 04 de 2015). *COSTO DE UNA PLANTA DE COGENERACION*. Obtenido de RENOVETEC: <http://energia.renovetec.com/centrales-de-ciclo-combinado/301-presupuesto-de-planta-de-cogeneraci%C3%B3n>
- Gutiérrez, B. (07 de 06 de 2016). *PLANTA DE COGENERACION DE 5 MW CON MACI PARA UNA FABRICA DE CONSERVAS*. Obtenido de ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA BILBAO : <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18861/PROYECTO.pdf?sequence=2>
- Herrera , S. (06 de 04 de 2016). *METODOLOGIA PARA DETERMINAR EL PRECIO DE COMERCIALIZACION DE LA ENERGIA PRODUCIDA POR UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE CUENCA: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/24341/1/Tesis.pdf>
- Industria, M. (21 de 04 de 2008). *GUIA TECNICA PARA LA MEDIDA Y DETERMINACION DEL CALOR UTIL, DE LA ELECTRICIDAD Y DEL AHORRO DE ENERGIA PRIMARIA DE COGENERACION DE ALTA EFICIENCIA*. Obtenido de AHORRO DE LA ENERGIA: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Guia_calculo_calor_util__Hchp-Echp-PES_c24e48c1.pdf
- Katherine, B. (18 de 06 de 20113). *ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE GENERACION DISTRIBUIDA*. Obtenido de UNIVERSIDAD DEL AZUAY: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2195/1/09657.pdf>

- Mexico , C. (03 de 07 de 2012). *COGENERACION EN INDUSTRIAS*. Obtenido de LOOMTEK:
<http://www.cogeneramexico.org.mx/menu.php?m=80>
- Miranda, J. (08 de 09 de 2010). *POTENCIAL DE COGENERACION EN MEXICO Y SU POSIBLE DESAROLLO*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO:
http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/722/1/Tesis_Javier_Miranda.pdf
- Naranjo, J. (10 de 06 de 2010). *OPTIMIZACION DE PLANTA DE COGENERACION EN CENTRO DEPORTIVO*. Obtenido de UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS:
<https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4c210d5cb131a.pdf>
- Ramiro, F. (24 de 09 de 2009). *ESTUDIO DE VIABILIDAD Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE COGENERACION PARA UNA INDUSTRIA CARNICA*. Obtenido de ESCUELA TECNICA SUPERIOR:
[http://www.ingenieros.es/files/proyectos/PFC_Fernando_Ramiro_Velasco_\(Cogeneraci%C3%B3n\).pdf](http://www.ingenieros.es/files/proyectos/PFC_Fernando_Ramiro_Velasco_(Cogeneraci%C3%B3n).pdf)
- Sánchez , J., Montiel, L., López, M., & Varela, R. (22 de 10 de 2008). *PROPUESTA DE AHORRO DE ENERGIA EN UNA EMPRESA DE LA REGION SUR DE SONORA A TRAVES DE UN DIAGNOSTICO ENERGETICO*. Obtenido de INSTITUTO TECNOLOGICO DE SONORA:
<http://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no65/81.pdf>
- Suárez, G. (27 de 06 de 2007). *INSTALACION DE TRIGENERACION MEDIANTE MOTORES DE GAS*. Obtenido de UNIVERSIDAD PONTIFICA COMILLAS:
<https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4680eeb18ebeb.pdf>
- Talla, E. (27 de 03 de 2015). *AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA EN UNA INDUSTRIA CERVECERA COMO ESTRATEGIA DE EXCELENCIA OPERATIVA*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS:
http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4030/Talla_ce.pdf;jsessionid=2519A4BB2CADCA04DB132BE96EB80920?sequence=1

ANEXOS

Anexo 1 Datos de la Industria A

NOMBRE de la INDUSTRIA	INDUSTRIA
UBICACIÓN	CUENCA (Parque industrial)
ACTIVIDAD PRINCIPAL	Producción de papel

CARGAS TERMICAS	WATT (W)
Carga térmica por cerramientos	540 015
Carga térmica por calefacción	733 745
Carga térmica por infiltración	69 400
TOTAL	1.343 160

MESES	CONSUMO kWh	CONSUMO \$
ENERO	193.152	36.126,12
FEBRERO	208.335	38.397,37
MARZO	203.369	37.614,80
ABRIL	205.689	29.008,62
MAYO	200.12	26.121,92
JUNIO	233.131	29.836,66
JULIO	262.407	43.440,52
AGOSTO	278.295	51.663,75
SEPTIEMBRE	272.348	31.723,81
OCTUBRE	239.89	34.604,90
NOVIEMBRE	235.023	31.051,20
DICIEMBRE	194.924	29.275,07
TOTAL	2.726.683	418.864,74

Anexo 2 Datos de la Industria B

NOMBRE de la INDUSTRIA	INDUSTRIA B
UBICACIÓN	CUENCA (Parque industrial)
ACTIVIDAD PRINCIPAL	Producción de lácteos

CARGAS TERMICAS	WATT (W)
Carga térmica por transmisión	103 286
Carga térmica por radiación	567 600
Carga térmica por aire de ventilación	412 577
Carga térmica por infiltración de aire exterior	39 023
Carga térmica por iluminación	130 800
Carga térmica por ocupantes	125 000
TOTAL	1.378 286

MESES	CONSUMO kWh	CONSUMO \$
ENERO	193.152	36.126,12
FEBRERO	208.335	38.397,37
MARZO	203.369	37.614,80
ABRIL	205.689	29.008,62
MAYO	200.12	26.121,92
JUNIO	233.131	29.836,66
JULIO	262.407	43.440,52
AGOSTO	278.295	51.663,75
SEPTIEMBRE	272.348	31.723,81
OCTUBRE	239.89	34.604,90
NOVIEMBRE	235.023	31.051,20
DICEMBRE	194.924	29.275,07
TOTAL	2.726.683	418.864,74