

Selección del esquema de cogeneración para una industria de pescado enlatado. Caso Ecuador.

Angel Rafael Arteaga Linzan¹, Ángel Luis Brito Sauvanell², Manuel Ángel Cantos Macías¹, Enrique Gilbert³

¹Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador, aarteaga@utm.edu.ec, mcantos@utm.edu.ec.

²Universidad de Oriente, Centro de Estudios Energéticos, Santiago de Cuba. Cuba, albrito@fim.uo.edu.cu

³Conservas Isabel Ecuatoriana, Departamento de Mantenimiento, Manta, Ecuador, egilber@isabel.com.ec.

Abstract— The determination of the parameter $\beta=1.868$ (the ratio of heat output ($Q=4,771 \times 10^9$ kJ/mes) and electricity consumed ($W=2,549 \times 10^9$ kJ/mes) by the industry) was performed selection of more suitable cogeneration scheme for its application in the conditions of a fish canning industry. Considering that the proposed cogeneration scheme would represent a savings in US dollars for the company as well as the fuel subsidy and various economic and environmental points of view, were calculated, the time of amortization for several cogeneration schemes with steam Turbines (TV= 20,89 years), with gas turbines (TG= 3,16 years) and with internal diesel combustion engines (MCID= 2,72 years) concluding that as the first alternatives to be considered are internal combustion engines and gas turbines. Whereas thermal energy of the internal diesel combustion engine is very disjointed, and fish canning industry need steam parameters from 0.8 to 1.3 bar absolute so the tons of CO₂ not-emitted to the atmosphere by the use of this technology (TV= 2137, TG= 4490 y IDCE= 4987), it was concluded that the cogeneration scheme with gas turbine is the most viable technology ecological and economically for this type of industry.

Index Terms Cogeneration, rate heat and power, repayment period, β parameter, fuel savings.

I. INTRODUCCION

En las últimas décadas el Ecuador, se ha enfrentado a varias crisis energéticas lo que ha condicionado la actual estructura de consumo del país. De acuerdo al balance nacional de energía 2014 presentado por el ministerio de sectores estratégicos, el petróleo representa el 91% de la energía primaria total generada en el país de la cual se utiliza en un 49% para el transporte y 18% para la industria, seguidos por el gas natural con un 4 %, la hidroenergía con el 3%, leña y caña con el 1%, lo que significa que el país posee actualmente una matriz contaminadora, no sustentable, (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos 2014).

En base a los antecedentes de estructura de consumo energético que presenta el Ecuador y las crisis anteriormente mencionadas, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable considera a la cogeneración como una línea de investigación que permitirá fomentar e impulsar el ahorro y la eficiencia energética en las industrias ecuatorianas, por lo que tiene planificado realizar: “un estudio que determinará el

potencial de cogeneración en Ecuador, (Dirección de Biomasa y Cogeneración 2014).

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, las únicas industrias que han hecho público el uso de la cogeneración en el Ecuador a sus procesos son los ingenios azucareros, utilizando la biomasa como combustible, este es el caso de los Ingenios San Carlos, La Troncal, Monterrey y Valdes, (CALLE, J.; ULLOA, S 2008), con una producción de energía eléctrica de 35 MW, 29,8 MW, 3 MW, 36,5 MW, (VERGARA, F 2012) respectivamente.

La cogeneración “es un proceso mediante el cual se generan dos o más formas de energía de manera simultánea agotando únicamente una fuente principal de energía. La ventaja que ofrece la cogeneración en comparación con la generación convencional de energía es el incremento de la eficiencia debido a la recuperación térmica adicional”, (GUERRA, S.; et al 2005).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los esquemas de cogeneración más usados actualmente en las industrias son:

- A. - Con turbinas a vapor.
- B. -Con turbinas a gas.
- C. -Con Motores a combustión interna.

Motores de combustión interna, (Figura 1) en los sistemas de cogeneración mediante motores de combustión interna se aprovecha el calor contenido en los gases de escape y en los

fluidos térmicos, mediante una caldera de recuperación y un intercambiador de calor obteniéndose vapor y/o agua caliente.

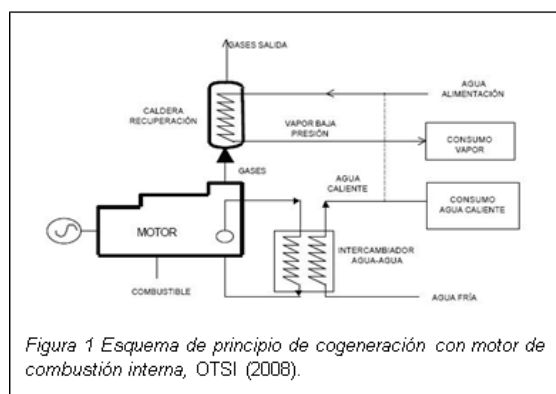


Figura 1 Esquema de principio de cogeneración con motor de combustión interna, OTSI (2008).

Turbinas a vapor, El ciclo termodinámico bajo el cual opera una turbina de vapor se denomina “Ciclo de Rankine” (Figura 2). El agua es bombeada a una presión media – alta, dependiendo del tamaño de la unidad y la temperatura a la que el vapor será eventualmente calentado. Posteriormente, el agua se calienta hasta su temperatura de ebullición y usualmente es sobrecalentada por encima de esa misma temperatura. El vapor presurizado se expande a una presión menor en una turbina de etapas múltiples y, posteriormente se canaliza a un sistema de distribución que entrega el vapor para su uso en una aplicación industrial o comercial, <http://www.cogeneramexico.org.mx/menu.php?m=79>, (2012), las eficiencias globales de estos sistemas están entre 60 y 80%, (BORROTO, A.; et al 2005).

En los sistemas de cogeneración el combustible empleado para generar la energía eléctrica y térmica es mucho menor que el utilizado en los sistemas convencionales de generación de energía eléctrica y térmica por separado, es decir, que del 100% de energía contenida en el combustible, en una termoeléctrica convencional sólo 33% se convierte en energía eléctrica, mientras que el resto se pierde a través del condensador, los gases de escape, las pérdidas mecánicas, las pérdidas eléctricas por transmisión y distribución entre otras, (<http://www.otsi.com.es/tiposdeplantasdecogeneracion.html> 2008).

En vista que las industrias Ecuatorianas no aplican la tecnología de la cogeneración como una alternativa de ahorro y eficiencia energética en sus procesos industriales (a excepción de los ingenios azucareros), y que el sector de producción de conservas en atún, constituye el tercer exportador no petrolero, (<http://www.comercioexterior.gob.ec/exportaciones-1> 2013), el presente trabajo está orientado a, proponer un esquema de cogeneración considerando el parámetro β y la relación calor/potencia, presentar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de estas tecnologías en empresas de este importante sector productivo. Considerando que el 64 % del combustible diésel es importado y del total el 25% es de uso exclusivo en las industrias generalmente para la producción de calor, (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2014), se tendría un ahorro importante en

importaciones, reduciendo la fuga de divisas y fortaleciendo su sistema económico dolarizado.

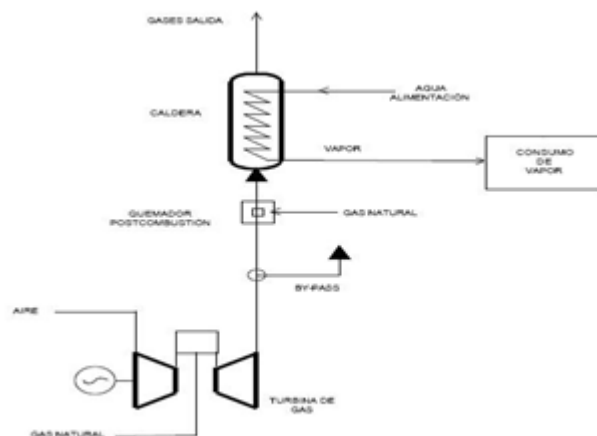


Figura 2. Esquema de principio de cogeneración turbina a gas, OTSI (2008).

El sector industrial. La industria de enlatado del atún.

Las exportaciones totales del Ecuador del año 2014 represento 24958 millones de los cuales 10850 millones corresponden a las exportaciones no petroleras, (<http://www.comercioexterior.gob.ec/expor-taciones-1>, 2013). La industria atunera representa para el país el tercer exportador no petrolero, en el año 2014 represento ingresos de 998,109 millones de dólares [13], la ciudad de Manta conocida co-mo la capital atunera del pacífico oriental cuenta con la flota atunera más grande de Suramérica, al-berga además a 11 de las 12 empresas procesadoras de atún en conservas más grandes del país, entre las cuales se encuentra la empresa conservas Isabel s.a. en la cal se realizó el presente trabajo, (http://www.ceipa.com.ec/Quienes_somos, 2014).

Conservas Isabel Ecuatoriana S.A. se constituye en 1976. La empresa se encuentra ubicada en Manta (Ecuador), donde se localiza el puerto atunero más grande del mundo. Este puerto, con una pobla-ción de más de 250.000 habitantes, se ha desarrollado gracias al atún y es punto obligatorio de toque de las flotas atuneras de bandera ecuatoriana y de otros países, para la contratación de marinos es-pecializados en esta especie y la descarga de los barcos. La fábrica de Conservas Isabel Ecuatoriana fue totalmente remodelada en septiembre de 2001 y es en la actualidad la planta de procesamiento de atún más moderna del Continente Americano, con capacidad para producir 12.000 cajas diarias. Des-de su inicio, Conservas Isabel Ecuatoriana desarrolló una importante vocación exportadora y hoy es el día en que los productos de Isabel Ecuatoriana se destinan a más de 30 países, principalmente de

Sudamérica y Europa, (www.isabel.nethttp://www.isabel.net/conservas-isabel/instalaciones 2015).

Selección del sistema de cogeneración.

Materiales a utilizar – los equipos de medición utilizados para la obtención de los datos referentes a la energía térmica y eléctrica fueron:

- Manómetros tipo Bourdon para vapor 0 – 12 Bar.
- Termómetro bimetalico para agua caliente 0 – 200 °C.
- Medidor de agua de chorro múltiple bridado de 2” bar meter.
- Medidores de energía eléctrica siemens Sentron pack 3200.
- Tanque para combustible Bunker.

Los parámetros de decisión utilizados, para la selección y evaluación de la alternativa de cogeneración propuesta para la empresa participante en este estudio, se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de decisión

Parámetros
Consumo mensual de agua de alimentación de las calderas piro tubulares.
Consumo mensual de combustibles para generación de vapor.
Consumo mensual de energía eléctrica.
Presión de trabajo de las calderas piro tubulares.
Temperatura del agua de alimentación de calderas.
Costo del combustible (Bunker) con y sin subsidio utilizado en las calderas piro tubulares.
Costo del combustible (Diésel) con y sin subsidio utilizado en las alternativas de cogeneración (Turbinas a gas y Motores de combustión interna).
Costo del Mw –Hr instalado para las tres alternativas de cogeneración.
Generación de CO2 de cada una de las alternativas de cogeneración.

Metodología – Mediante la medición de los consumos de vapor y energía eléctrica del año 2014 de la empresa conservera de atún en latas en que se realizó el estudio, se determinó la demanda promedio de energía térmica y eléctrica, y la relación calor/ electricidad. (Tabla 2).

Tabla 2. Demandas de energía térmica y eléctrica 2014

Empresa	Energía térmica (KJ/mes)	Energía eléctrica (KJ/mes)	Relación calor/potencia
Conservas de pescado en latas.	4,771x10 ⁹	2,549x10 ⁹	1,868

Calculadas las demandas de energías térmicas y eléctricas en unidades compatibles, se determinó mediante la ecuación (1) la relación calor/potencia.

$$R = \frac{Q}{E} \quad (1)$$

Aplicando este cociente de la ecuación 1 al diagrama de ahorro de energía primaria [16] mostrado en la Figura 6, obtendríamos la tecnología de cogeneración más adecuada para satisfacer de energía térmica y eléctrica al proceso productivo.

Tal aseveración se reafirma aplicando lo expuesto por Silva, donde el parámetro β es la relación entre la energía eléctrica generada y la energía térmica producida, mismo que depende de la tecnología y del rendimiento del equipo empleado para la producción combinada de calor y electricidad, por lo cual:

$$R = \frac{Q}{E} = \frac{1}{\beta} \quad (2)$$

Con el valor del parámetro β ($\beta=0,53$) y mediante el uso de la Tabla 3 se selecciona la tecnología de la cogeneración que podría abastecer de energía térmica y eléctrica a los procesos de la empresa.

Tabla 3. Rangos usuales de valores de β para sistemas de cogeneración

Tipo de ciclo	β
Turbinas a vapor de contra presión.	0,10 a 0,45
A. Turbinas a gas	0,25 a 0,8
Motores diesel.	0,5 a 1,6

Evaluación económica del sistema de cogeneración

Mediante la ecuación 3 (Comision Nacional de Energia de Cuba, 1982) se determinó el consumo de combustible de centrales térmicas independientes, se tomó el combustible utilizado por la empresa para la generación de la energía térmica

para sus procesos y la electricidad en centrales termoeléctricas de la red pública con eficiencias promedio de 35%.

$$\beta_1 = Combustible + \frac{E}{0,35} \quad (3)$$

Los consumos de combustibles de una central mixta con turbinas a gas, vapor y motores diésel, se calculan mediante la ecuación 4, (Comision Nacional de Energia de Cuba 1982)

$$\beta_2 = \frac{(Q + E)}{\eta} \quad (4)$$

Donde η es la eficiencia, que se obtuvo por interpolación en función de su potencia (2 Mw), para las turbinas a gas 0,657, para vapor 0,60 y motores diésel 0,676, (BORROTO, A.; et al 2005)

Los ahorros de combustibles promedios mensuales, en porcentaje y unidades de energía, de cada uno de los esquemas de cogeneración, se calculan mediante las ecuaciones 5-6, (Comision Nacional de Energia de Cuba, 1982).

$$Ahorro(\%) = \frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta_1} 100 \quad (5)$$

$$Ahorro(KJ/Mes) = \beta_1 - \beta_2 \quad (6)$$

Los ahorros de combustible en unidades de energía, se transformaran mediante la ecuación 7 a unidades monetarias \$/mes, para cada alternativa de cogeneración.

$$A.C.(\$ / Mes) = \frac{A.C.(KJ / Mes) * C.G.C.(\$ / GL)}{P.C.I} F.C. \quad (7)$$

Con el objetivo de empezar a definir los ahorros anuales que ofrecería cada una de las tecnologías de cogeneración propuestas se utiliza la ecuación 8.

$$A.C.(\$ / Año) = A.C.(\$ / Mes) * 12 \quad (8)$$

Finalmente se definen los periodos de amortización de cada una de las alternativas de cogeneración para la potencia necesaria (2 MW) de la empresa, mediante la ecuación 9.

$$P.A.(\$ / Año) = \frac{C.I.(\$ / MW) * PI(MW)}{A.C.(\$ / Año)} \quad (9)$$

La opción tecnológica de cogeneración escogida desde el punto de vista económico será la que tenga un periodo de amortización más bajo y sobretodo que pueda proveer de energía térmica y eléctrica tanto cuantitativa como cualitativamente a la empresa en mención.

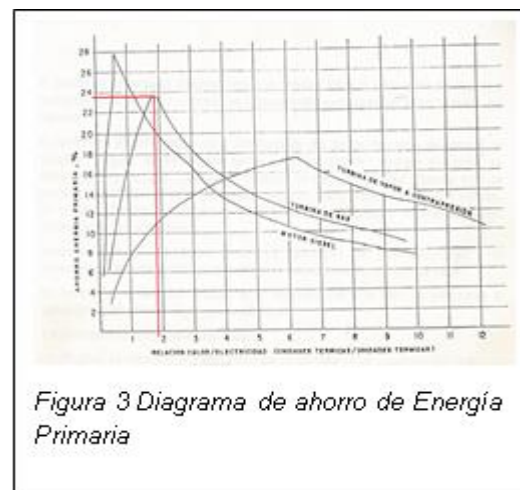
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de haber desarrollado la selección y evaluación del esquema óptimo de cogeneración para esta industria, se obtuvieron sus relaciones calor\electricidad y el parámetro β :

Tabla 4 R y β para la empresa

Empresa	R	β
Conservas de pescado en latas	1,86	0,53

Aplicando al diagrama de ahorro de energía primaria los valores de relación calor energía eléctrica (R):



Se tiene que la tecnología de cogeneración óptima para estas empresas del sector atunero es: la turbina a gas.

Ahora, si tomamos los valores de β de la Tabla 4 y aplicamos los rangos de los valores β de la Tabla 3, se determina que el esquema de cogeneración que brindaría la energía térmica y eléctrica para la industria son.

- Las turbinas a gas
- Los motores de combustión interna.

Considerando que en los motores de combustión interna, la energía térmica producida es de bajo potencial, (BORROTO, A.; et al 2005), y que los procesos industriales del sector de conservas de atún, necesitan de un vapor de alto potencial energético, se define técnicamente que el esquema de cogeneración con turbinas a gas es el que más se ajusta a los requerimientos de calor y energía.

El análisis económico de las alternativas de cogeneración, determinó el ahorro monetario anual (ver Tabla 5) que cada esquema de cogeneración, ofrece al Estado Ecuatoriano y el periodo de amortización (ver Tabla 6) desde la perspectiva de un costo del combustible (\$/Galón) con subsidio y sin subsidio.

Tabla 5 Ahorro en combustible (\$/año)

Situación	Turbina a gas	Turbina a vapor	Motor de combustión interna diesel
Con subsidio.	139501,40	51224,91	161668,03
Sin subsidio.	263178,98	86405,67	304997,86

Tabla 6 Periodo de amortización (año)

Situación	Turbina a gas	Turbina a vapor	Motor de combustión interna diesel
Sin subsidio.	3,16	20,89	2,72

Siendo la cogeneración una tecnología que reduce de manera importante el consumo de combustible primario, y en este caso en particular de origen fósil, este estudio no podía dejar de lado el aspecto ambiental que involucraría la instalación de cualquiera de estas tecnologías, (ver Tabla 7).

Tabla 7 Emisiones de CO2 no generadas por la cogeneración (Ton. de CO2 ahorradas)

Empresa	turbina a gas	turbina a vapor	motores Diesel
Conservas de atún en latas	4490,36	2137	4987,92

De acuerdo a los resultados de las Tablas 5 y 6, el esquema óptimo para proveer de energía térmica y eléctrica a la empresa en mención son los motores de combustión interna, pero por consideraciones hechas anteriormente, esta tecnología de cogeneración no podría brindar el potencial térmico que este tipo de industria necesita para sus procesos, por lo que se selecciona la turbina a gas.

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la selección y evaluación de un sistema de cogeneración, que cubra las necesidades de calor y electricidad para la empresa conservas de pescado en latas se concluye lo siguiente:

1. El valor de los parámetros $R=Q/W=1,86$ y $\beta=W/Q=0,58$ fueron determinados en condiciones reales para una industria de conservas de pescado en lata observándose valores dentro del rango de operación de los esquemas energéticos de este tipo de empresa. Con estos datos se seleccionó la propuesta del

esquema de cogeneración usando 2 fuentes bibliográficas diferentes, las cuales muestran coincidencia en el resultado, descartando al uso de la turbina a vapor y presentando como posibles candidatos a la tecnología con Turbina a gas y el Motor de combustión interna a diésel.

2. El análisis económico mostró la variación del indicador tiempo de amortización para los 3 esquemas de cogeneración considerados en este trabajo, $TG=3,16$ años, $TV=20,89$ años y $MCI= 2,72$ años. La proximidad en los valores de TG y MCI fortalece la propuesta de estas dos tecnologías de cogeneración como la opciones mas atractivas.

3. El cálculo de las toneladas de CO2 dejadas de emitir a la atmosfera en un año por el uso de la tecnología de cogeneración en la industria de conservas de pescado en latas, usando $TV=2137$, $TG=4490$ y $MCID=4987$ muestran la semejanza del impacto ecológico de las dos últimas tecnologías.

4. La propuesta definitiva es el uso de la tecnología de cogeneración con turbina a gas, considerando que la energía térmica en el MCI está muy disgregada y los equipos actualmente instalados en la empresa no satisfacen la completa demanda de este tipo de energía en la industria estudiada.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Boroto, A., González, F., & Armas, M. d. (s.f.). Temas avanzados de Cogeneración y Generación Descentralizada. Cienfuegos: Ed. Universo Sur.

BORROTO, A.; et al., “Temas avanzados de cogeneración y generación descentralizada”, Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad Cienfuegos, 2005.

Calle, J., & Ulloa, S. (s.f.). Universidd Politecnica Salesiana. Obtenido de http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/287/2/Capitulo1_.pdf

CALLE, J.; ULLOA, S., “Sistema de generación de energía eléctrica mediante bagazo de caña de azúcar aplicado al valle de Yunguilla.” Universidad Politécnica Salesiana, 2008, p.17.

Camara Ecuatoriana de Industriales y Procesadores Atuneros, 2014, Disponible en http://www.ceipa.com.ec/Quienes_somos

Carlos, I. S. (s.f.). Sostenibilidad. Obtenido de <http://www.sancarlos.com.ec/porta/es/web/ingeniosancarlos/punto-verde-cogeneracion>

CASTRO, C., “Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador”, Ecuador: Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental, 2011, p.p. 57-59, ISBN 978-9942-9998-5-6. Disponible en http://www.academia.edu/4560892/matriz_energetica_ecuador

Cogenera Mexico, “Turbina a vapor”, 2012, Disponible en <http://www.cogeneramexico.org.mx/me-nu.php?m=79>.

Cogenera Mexico, “Turbina de gas”, 2012, Disponible en <http://www.cogeneramexico.org.mx/me-nu.php?m=78>

COLCIENCIAS, & UPME. (2007). Guia para la Implementacion de Sistemas de Gestion integral de la Energia. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Guia/Guia.pdf>

- Colombia, U. d., & Tecnología, I. C. (s.f.).
Comision Nacional de Energia de Cuba” Tecnicas de conservacion energetica en la Industria. Tomo # 1, 1982.
- Conservas Santa Isabel, “Instalaciones”, 2015, Disponible en www.isabel.net<http://www.isabel.net/conservas-isabel/instalaciones>
- Dirección de Biomasa y Coogeneración .2014, Disponible en <http://www.energia.gob.ec/coogeneracion/Estrategicos>, M. C. (07 de Abril de 2013). Noticias. Obtenido de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/en-el-ecuador-el-cambio-de-matriz-energetica-es-cuestion-de-supervivencia/>
- Estratégicos, M. C. (2013). Descargas. Obtenido de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/Balance-Energetico-Nacional-2013-base-2012.pdf>
- GUERRA, S.; VAZQUEZ, R.; RODRIGUEZ, M, “Simulación de Plantas de Cogeneración de Ciclo Combinado usando ASPEN”. Información Tecnológica, 2005, vol. 16, n°1, p.p 42-49 - ISSN 0718-0764.
- Ingenio San Carlos. “Cogeneración de energía eléctrica”, 2014, Disponible en <http://www.sancarlos.com.ec/portal/es/web/ingeniosancarlos/punto-verde-cogeneracion>
- Inversiones, I. d. (junio de 2014). Evolución de las Exportaciones Ecuatorianas Enero/Abril 2012-2014. Obtenido de http://www.proecuador.gob.ec/pubs/proec_eee2014_ene-abr/
- M. Mera, S. .. (2013). “Resultado de las acciones ejecutadas durante la crisis energética 2009”. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de (Consultado 06-2015) <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24289>.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. “Balance energético Nacional”, 2014, Disponible en http://issuu.com/sectoresestrategicos/docs/resumen_balance_energetico_nacion_8bf640f4c24f20
- Oliva, L. (2002). Balances Energéticos y Cogeneración. Riobamba: Ed. ESPOCH.
- OTSI, “Cogeneracion tipos de planta”, 2008, Disponible en <http://www.otsi.com.es/tiposdeplantasdecogeneracion.html>
- Pro-Ecuador, Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones, “Evolución enero- diciembre exportaciones Ecuatorianas”, 2013, Disponible en <http://www.comercioexterior.gob.ec/exportaciones-1/>
- Renovables, I. N. (s.f.).
- Renovables, I. N. (s.f.). Industrias. Obtenido de <http://www.iner.gob.ec/industrias/>
- SILVA, E. NASCIMENTO, “Generación energética, planeamiento, proyecto y operación”, Volumen II.
- Silva, E., & Nascimento, R. D. (s.f.). Generación Energética, Planeamiento, roecto y operacion (Vol II).
- VERGARA, F. “Proyectos energéticos sector eléctrico Ecuatoriano con biomasa”, Ecuador: Con-sejo Nacional de Electricidad, 2012, Disponible en http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/05/CONELEC_Proyectos-Energ%C3%A9ticos-Sector-El%C3%A9ctrico-Ecuatoriano-con-Biomasa_Paola_Andino.pdf
- Simbología:
- : Ahorro de combustible mensual prom.
 - : Ahorro de combustible mensual prom.
 - : Costo del galón de combustible.
 - : Poder calorífico inferior del diésel y Bunker. [11]
 - : Factores de conversión. (0,06649)
 - : Periodo de amortización (\$/Año)
 - : Costo de inversión. (\$/ MW)
 - : Potencia instalada de la planta. (Mw)