

UNIVERSIDAD PRIVADA "CÉSAR VALLEJO"
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**FACTIBILIDAD TÉCNICO - ECONÓMICA DE
CONVERSIÓN DE COGENERACIÓN INDUSTRIAL A
COMERCIAL DE LAS CENTRALES TERMoeLECTRICAS
EN INGENIOS AZUCAREROS DE LA LIBERTAD
REEMPLAZANDO TURBINAS DE VAPOR DE
CONTRAPRESIÓN POR TURBINAS DE VAPOR DE
EXTRACCIÓN - CONDENSACIÓN.**

**Tesis de investigación para optar el Título
Profesional de Ingeniero Mecánico**

Autores:

**Bobadilla Alva Luis Antonio.
Sopla Goñas, Lilmer Anival.**

Asesor especialista:

Mg. Raúl Paredes Rosario.

Asesor Metodológico:

Mg. Jorge Lujan López.

Trujillo-Perú

2008

PRESENTACIÓN

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO:

De conformidad con lo prescrito con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada César Vallejo, ponemos a vuestra disposición el presente informe del trabajo de investigación titulado.

“Factibilidad Técnico-Económica de Conversión de Cogeneración Industrial a Comercial de las Centrales Termoeléctricas en Ingenios Azucareros de la Libertad, Reemplazando Turbinas de Vapor de Contrapresión por Turbinas de Vapor de Extracción –Condensación”.

La presente tesis de investigación corresponde a un amplio tema de los sistemas energéticos, en la cual se aplicaron los conocimientos básicos de la termodinámica, Transferencia de calor y los principios de la investigación científica; con lo cual logramos cumplir los objetivos establecidos, que plasmados en sus conclusiones y recomendaciones planteadas, esperamos sirvan de utilidad para posteriores investigaciones e inversiones sobre el tema.

Trujillo, Agosto del 2007.

Bobadilla Alva, Luís Antonio.

Sopla Goñas, Lilmer Anival.

DEDICATORIA

Con inmenso cariño y gratitud dedico este trabajo a mis queridos padres: Celestina Goñas Arce y Silvestre Sopla Magallán; a quienes Dios puso en mi camino como ejemplo de bondad, entrega y superación, quienes me brindaron en forma desinteresada y oportuna su constante apoyo, comprensión y estímulo e hicieron posible la culminación de mi carrera profesional.

A mi hermano Alexis y hermanas Elvia y Nikyta por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles que vivimos con la esperanza de siempre superarnos.

Sopla Goñas, Llilmer Anival.

DEDICATORIA

Con cariño y gratitud dedico este trabajo a mi padre José Bobadilla Villalobos, que vivirá en mí hasta el día que deje de pensar en él.

A mi madre Victoria Alva Quispe, que me dió la vida; a mi amigo Anival Sopla, por apoyarme en todo momento.

A mi abuela Mavila Villalobos por la rudeza con que me crió y enseñó a luchar en la vida.

A mi esposa Zully, mis hijos Jimmy, Brayan, que me apoyaron para culminar mi carrera profesional.

Luis Antonio Bobadilla Alva.

AGRADECIMIENTO.

Los autores del presente trabajo de investigación expresan su agradecimiento a la Universidad Privada César Vallejo, en especial a los docentes quienes nos acompañaron a lo largo de nuestra formación académica; brindándonos, conocimientos, experiencias, amistad, etc; que nos servirán a lo largo de nuestra vida profesional.

De manera especial nuestra inmensa gratitud al Ing. Raúl Paredes Rosario, a quien consideramos el amigo, el consejero, el profesor, por su valiosa y desinteresada asesoría, conocimientos y tiempo que dedicó apoyándonos en la investigación de nuestro tema.

En especial a nuestros padres, hermanos y seres queridos que nos brindaron su apoyo, el cual no hubiera sido posible sin el apoyo de cada uno de ellos.

Sin ánimo de olvidar a nadie en particular y a todas aquellas personas que de una u otra manera han compartido durante estos últimos meses este trabajo, nuestro más sincero agradecimiento por su comprensión, estímulo y ayuda para poder culminar con éxito el presente estudio.

Los autores.

INDICE ANALITICO.

Presentación.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iv
Resumen.....	v
Abstract.....	vii
Índice analítico.....	ix
Lista de tablas	xii
Lista de gráficos.....	xiv
Lista de esquemas.....	xiv
CAPITULO I.	
1. Introducción.....	1
1.1. El problema.....	2
1.1.1. Realidad problemática.....	2
1.1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.1.3. Justificación del estudio.....	3
1.1.4. Limitaciones del problema.....	5
1.1.5. Enunciado del problema.....	5
1.2. Objetos.....	6
1.2.1. Objetivo General.....	6
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
CAPITULO II	
2. Marco Referencial.....	7
2.1. Marco referencial científico.....	8
2.1.1. Antecedentes del problema.....	8
2.1.2. Marco teórico.....	13
2.1.2.1. Evolución de la cogeneración.....	13
Cogeneración en el mundo.....	13
Cogeneración en Latinoamérica.....	15
Procesos de Fabricación de azúcar.....	16
Desmenuzadora.....	17
Capacidad de los molinos.....	18
Densidad de la fibra comprimida.....	20

Calentamiento.....	20
Cálculo de calentadores.....	22
Evaporación.....	23
El múltiple efecto.....	25
Cocimiento.....	25
Brix de la meladura.....	25
Valor calórico del bagazo.....	26
Cogeneración.....	27
Cogeneración y generación eléctrica comercial.....	28
Esquemas de cogeneración.....	29
Rendimientos isentrópicos de turbina de vapor.....	34
Condensador de vapor.....	35
Torre de enfriamiento.....	35
Psicrometría.....	37
Balance de masa.....	38
Balance de energía.....	39
Exergía.....	42
Procesos irreversibles.....	44
Reglamento de cogeneración peruano.....	46
Factor de utilización de la energía.....	47
Caldera acuotubulares.....	48
Turbina de vapor.....	50
Generador eléctrico.....	52
Valor actual neto.....	53
Tasa interna de retorno.....	53

CAPITULO III

3. Marco Metodológico.....	54
3.1. Hipótesis.....	55
3.2. Variables.....	55
3.2.1. Variable dependiente.....	58
3.2.2. Variable independiente.....	58
3.2.3. Variable interviniente.....	58
3.3. Marco conceptual.....	59
Factibilidad Técnica.....	59

Factibilidad económica.....	59
3.4. Diseño de ejecución.....	62
3.4.1. Objeto de estudio.....	62
3.4.2. Métodos.....	62
3.4.3. Población y muestra.....	62
3.5. Forma de Análisis e interpretación de resultados.....	66
3.5.1. Análisis de contrastación.....	66
3.5.2. Indicadores.....	67
CAPITULO IV.	
4. Resultados.....	68
4.1. Suposiciones para el análisis.....	69
Cálculo de pérdidas de presión.....	70
Cálculo de pérdidas de calor por aislamiento térmico.....	72
4.2. Cálculo de calentamiento de jugo mezclado.....	78
4.2.1. Calentador N° 01.....	78
4.2.2. Calentador N° 02.....	82
4.2.3. Calentador N° 03.....	83
4.2.4. Calentador N° 04.....	85
4.3. Cálculo de calentamiento de jugo clarificado.....	86
4.3.1. Primer Calentador.....	87
4.3.2. Segundo calentador.....	89
4.4. Cálculo de vapor consumido en los tachos.....	91
4.5. Cálculo de vapor consumido en el múltiple efecto.....	94
4.6. Cálculo de vapor consumido en desgasificador de agua.....	95
4.7. Cálculo de consumo de vapor en alta presión.....	98
4.7.1. Cálculo de potencia de molinos.....	98
4.7.2. Cálculo de potencia de la chancadora.....	102
4.7.3. Cálculo de potencia del primer molino.....	105
4.7.4. Cálculo de potencia del segundo molino.....	108
4.7.5. Cálculo de potencia del tercer molino.....	111
4.7.6. Cálculo de potencia del cuarto molino.....	114
4.7.7. Cálculo de potencia del quinto molino.....	117
4.7.8. Cálculo de consumo de vapor en las turbinas de molinos.....	121
4.8. Cálculo del consumo de vapor en casa de bombas.....	127

4.9. Demanda de potencia eléctrica para molienda de caña..... 132

4.10. Generación de energía eléctrica..... 136

4.11. Análisis de la propuesta para cogeneración comercial..... 140

4.12. Cálculo de las dimensiones del condensador al vacío..... 150

4.13. Cálculo para la torre de enfriamiento..... 156

4.14. Cálculo de potencia de bombas, diámetro de tuberías para agua, y vapor..... 159

4.14.1. Cálculo de Diámetro de tubo para vapor alta presión..... 160

4.14.2. Cálculo de Diámetro de tubo para vapor de extracción..... 160

4.14.3. Cálculo de Diámetro de tubo para vapor de condensación..... 161

4.14.4. Cálculo de Diámetro de tubo para condensado..... 161

4.14.5. Cálculo de diámetro de tubo de agua de enfriamiento..... 162

4.14.6. Potencia de bomba para agua de enfriamiento..... 162

4.14.7. Potencia de bomba de vacío..... 167

4.14.8. Potencia de ventiladores de tiro forzado..... 169

4.14.9. Potencia de bomba de agua de reposición..... 170

4.15. Potencia eléctrica a vender a la red nacional..... 174

4.16. Consumo de combustible para generación de vapor..... 175

4.17. REE para turbina de extracción condensación..... 177

4.18. FUE para el ciclo propuesto..... 179

4.19. REE para la situación actual..... 181

4.20. FUE de la situación actual..... 182

CAPITULO V: ANALISIS ECONOMICO

5.1. Inversiones en equipos para cogeneración comercial de EE..... 186

5.2. Evaluación económica..... 188

CAPITULO VI

Análisis de Resultados..... 194

CAPITULO VII

Conclusiones y sugerencias..... 197

Referencias bibliográficas..... 200

Anexos..... 202

LISTA DE TABLAS.

Tabla N° 01: Valores de REE según Legislación peruana.....	46
Tabla N° 02: Generación de vapor (Casa Grande).....	63
Tabla N° 03: Generación de EE (Casa Grande).....	64
Tabla N° 04: Consumo de vapor en calentadores de jugo crudo.....	65
Tabla N° 05: Consumo vapor en calentadores de jugo clarificado.....	65
Tabla N° 06: Consumo total de vapor en Ingenio Casa grande.....	65
Tabla N° 07: Consumo de vapor en calentadores de jugo crudo.....	85
Tabla N° 08: Consumo de vapor en calentadores de jugo clarificado.....	90
Tabla N° 09: Balance de masa en el múltiple efecto.....	94
Tabla N° 10: Distribución de vapor en baja presión.....	98
Tabla N° 11: Consumo de vapor en turbinas de los molinos.....	126
Tabla N° 12: Consumo de EE en preparación de caña.....	132
Tabla N° 13: Consumo de EE en preparación de azúcar rubia.....	133
Tabla N° 14: Consumo de EE en sistemas varios.....	134
Tabla N° 15: Consumo de EE en otros sistemas.....	135
Tabla N° 16: Demanda total de EE en ingenio azucarero.....	135
Tabla N° 17: Distribución de vapor en alta presión (actual).....	139
Tabla N° 18: Distribución de vapor en alta presión (propuesto).....	149
Tabla N° 19: Costos sistema térmico.....	186
Tabla N° 20: Costos sistema condensación al vacío.....	186
Tabla N° 21: Costos sistema de enfriamiento agua por aire.....	187
Tabla N° 22: Costos sistema de elevación en alta tensión.....	187
Tabla N° 23: Costos de instalación.....	187
Tabla N° 24: Costos total de inversión.....	187

LISTA DE GRAFICOS.

Gráfico N° 01: Producción de EE en 1998 a nivel mundial.....	14
Gráfico N° 02: Evolución de la cogeneración en México.....	15
Gráfico N° 03: Consumo de vapor en calentadores de jugo crudo.....	86
Gráfico N° 04: Consumo de vapor en calentadores de jugo clarificado.....	90
Gráfico N° 05: Distribución de vapor en baja presión.....	98
Gráfico N° 06: Consumo de vapor en turbinas de los molinos.....	127
Gráfico N° 07: Demanda de EE en ingenio azucarero.....	136
Gráfico N° 08: Distribución de vapor en alta presión (actual).....	140
Gráfico N° 09: Distribución de vapor en alta presión (propuesto).....	149

LISTA DE ESQUEMAS.

Esquema N° 01: Esquema de la planta eléctrica Victoria de Julio.....	11
Esquema N° 02: Procesos de Fabricación de azúcar.....	16
Esquema N° 03: Sistema de cogeneración con turbina de extracción- condensación.....	29
Esquema N° 04: Sistema de cogeneración con turbina de contrapresión...	30
Esquema N° 05: Ciclo estándar de una central azucarera liberteña.....	30
Esquema N° 06: Ciclo Rankine con recalentamiento.....	31
Esquema N° 07: Ciclo Rankine con sobrecalentamiento.....	56
Esquema N° 08: Ciclo Rankine con sobrecalentamiento más turbina de extracción-condensación.....	57
Esquema N° 09: Esquema general de un ingenio azucarero estándar.....	77
Esquema N° 10: Representación esquemática de los molinos.....	101

RESUMEN.

Se presenta el estudio de prefactibilidad técnico económica de conversión de cogeneración industrial a comercial de energía termoeléctrica de los ingenios azucareros de La Libertad, en ciclo Rankine con sobrecalentamiento reemplazando las turbinas de contrapresión por turbina de extracción-condensación que aseguran menor consumo específico de vapor por cada kw-h generado.

El déficit creciente de energía eléctrica debido a la demanda industrial, comercial y domiciliaria; por desaprovechamiento y uso de la tecnología teniendo en cuenta el potencial de cogeneración de los ingenios azucareros; es por ello que se presenta este trabajo titulado **“Factibilidad técnico-económico de conversión de cogeneración industrial a comercial de los ingenios azucareros de la Libertad, reemplazando turbinas de contrapresión por turbina de extracción-condensación”**, en la cual se detallan los subprocesos, donde se consumen vapor, que a su vez es la fuente para generar energía eléctrica.

El trabajo esta dividido en seis capítulos, los cuales se mencionan a continuación:

En el capítulo I, se detalla la realidad problemática, la justificación del estudio, limitaciones, objetivos generales y específicos.

El capítulo II, se desarrollan las teorías sobre las cuales está fundamentada la investigación como el marco teórico y antecedentes referidos a la investigación.

El capítulo III, está referido al marco metodológico que comprende la hipótesis, variables, marco conceptual y diseño de ejecución.

El capítulo IV está referido a los resultados, el cual se especifica a continuación: Inicialmente, se realizan balances de masa y energía en todos los subprocesos: calentadores de jugo mezclado, calentadores de jugo clarificado, evaporación en quintuple efecto, casa de cocimientos. Todos estos subprocesos se realizan por transferencia de calor, el vapor de agua es la fuente de calor que calienta y evapora el jugo mezclado; los calentadores de jugo mezclado, casa de cocimientos, utilizan vapor del quintuple efecto, los calentadores de jugo

clarificado y el primer preevaporador del quintuple efecto, consumen vapor de escape de turbinas, cabe resaltar que el quintuple efecto es el mayor consumidor de vapor en un 79.5%.

Posteriormente, se calcula la cantidad de vapor necesario en alta presión para satisfacer la demanda de vapor en baja presión (saturado), se calculan los consumos de vapor en alta presión en los molinos, con ello determinar el excedente, para la generación de energía eléctrica; las turbinas que se utilizan tienen bajo rendimiento isentrópico (70%); un consumo específico de vapor de 14.0634 kg-vapor/Kw-hora, lo cual no permite generar mayor cantidad de energía eléctrica, por lo que se reemplaza una turbina de contrapresión por una de extracción-condensación de mayor eficiencia (80%); un consumo específico menor, para generar energía eléctrica que satisfaga la demanda interna más un excedente y así vender a la red nacional.

El cambio de turbina de contrapresión por extracción-condensación permite flexibilidad en el proceso, adicionándole, torre de enfriamiento, condensador al vacío, bombas centrífugas y ventiladores de tiro forzado, para los cuales se realizaron los cálculos determinándose los consumos adicionales de energía eléctrica, calculándose la potencia a vender a la red nacional.

En el capítulo V, se desarrolla el análisis económico-financiero para determinar el tiempo de retorno de la inversión y la rentabilidad del mismo, en el cual se determinó el retorno de inversión en 5 años y 3 meses, luego se obtiene beneficios superiores al millón de USA\$ por año, lo que lo convierte en un estudio atractivo de inversión.

En el capítulo VI, se concluye que la cantidad de energía eléctrica a vender a la red nacional es 3.7 Mw.h; obteniendo un ingreso anual de 1'193,472.00 USA\$ anuales. Y se sugiere que se haga una electrificación total de la planta para mejorar la generación de energía.

ABSTRACT

The technical feasibility study of conversion of commercial industrial co-generation to of thermoelectrial energy of the sugar talents of the Freedom, in cycle Rankine with overheat appears economic replacing the turbines of back pressure by extraction turbine - condensation that assure minor specific consumption steam by each kw-h generated.

The increasing deficit of electrical energy due to the industrial, commercial and domiciliary demand; by desaprovechamiento and use of the technology considering the potential of co-generation of the sugar talents; it is for that reason that appears east titled work **“Technical-economic feasibility of conversion of commercial industrial co-generation to of the sugar talents of the Freedom, replacing turbines of back pressure by extraction-condensation turbines”**. In turbines which details the subprocesses, where they are consumed steam, that is as well the source to generate energy electrical.

The divided work this in six chapters, which are mentioned next.

In the chapter I, details the problematic reality, the justification of the study, limitations, general missions and specific.

Chapter II, the theories are developed on which the investigation like theoretical Marco is based and Antecedent referred the investigation.

Chapter III, is referred methodologic Marco that includes/understands the Hypothesis, variables, conceptual frame and design of execution.

Chapter IV is referred the results, which specific next: Initially, balance of mass and energy are made in all the subprocesses: heaters of mixed juice, heaters of clarify juice, evaporation in quintuple effect, house of cofoundations. All these subprocesses are made by heat transference, the water steam is the heat source that warms up and evaporates the mixed juice; the heaters of mixed juice, house of cofoundations, use steam of the quintuple effect, the heaters of clarify juice and the first preevaporator of the quintuple effect, consumes steam of escape of turbines, is possible to stand out that the quintuple effect is the greater steam consumer in 79,5%.

Later, the amount of steam necessary in high pressure calculates to satisfy the demand of steam in low pressure (saturated), calculate the steam consumptions in high pressure in the mills, with it to determine the excess, for the generation of electrical energy; the turbines that are used have under isentropic yield (70%); a steam specific consumption of 14,0634 kg-vapor/Kw-hour, which does not allow to generate greater amount of electrical energy, reason why replaces a turbine of back pressure by one of extraction-condensation of greater efficiency (80%); a consumption I specify minor, to generate energy electrical that satisfies the internal demand plus an excess and thus to sell to the national network.

The change of turbine of back pressure by extraction-condensation allows flexibility in the process, adding to him, tower of cooling, condenser to the emptiness, centrifugal pumps and ventilators of forced shot, for which the calculations were made determining itself the additional consumptions of electrical energy, calculating the power to sell to the national network.

In I capitulate V, is developed to the analysis economic-financier to determine the turnaround time of the investment and the yield of he himself, in which it determined the return of investment in 4 years and 9 months, soon obtains benefits superior to the million USA\$ per year, which turns it an attractive study of investment.

In the chapter I SAW, concludes that the amount of electrical energy to sell to the national network is 3,7 Mw.h; obtaining an annual entrance of 1' 193.472,00 annual USA\$. And it is suggested is made a total electrification of the plant to improve the energy generation.