

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE  
GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería

Diseño de una planta de generación de  
energía eléctrica a partir de carbón mineral  
en Guatemala

Félix Gerardo Alegría Macdonald

Guatemala  
2006



Diseño de una planta de generación de  
energía eléctrica a partir de carbón mineral  
en Guatemala


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE  
GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería

Diseño de una planta de generación de  
energía eléctrica a partir de carbón mineral  
en Guatemala


Modelo de Trabajo Profesional presentado por Félix Gerardo  
Alegría Macdonald para optar al grado académico de  
Licenciado en Ingeniería Química

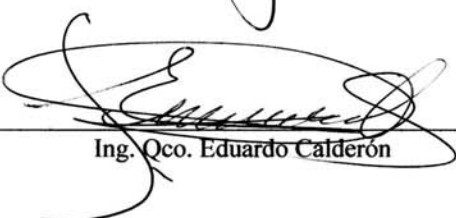
Guatemala  
2006

Vo.Bo.:

  
(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Qco. Jaime Rosales Solórzano

Tribunal:

  
(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Qco. Jaime Rosales Solórzano

  
(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Qco. Eduardo Calderón

  
(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Qco. Alejandro Hidalgo

Fecha de aprobación:

6 de Diciembre de 2006

Agradezco sinceramente por su apoyo a

Mis padres

Mi esposa

Mis hermanos

y a todas esas personas que me ayudaron  
directa o indirectamente en la elaboración  
de este trabajo.

## RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo el diseño de una planta de generación de energía eléctrica a partir de carbón mineral.

Para ello se determinó el tamaño de la planta a partir de una proyección de la demanda de energía y potencia eléctrica en el país, obteniéndose así una planta cuya potencia nominal es de 120 MW. Se recomienda que la planta se localice en la comunidad de Coyuta, Escuintla debido a la cercanía al puerto Quetzal para facilitar el suministro del combustible.

A partir de la Cantidad de Potencia Nominal se hicieron los cálculos respectivos para los parámetros del proceso, obteniéndose una necesidad de producción de la caldera de alrededor de 402,000 kg/h de vapor sobrecalentado.

Se determinó el diagrama de flujo y el balance de materia y energía de los equipos más relevantes para la producción de energía eléctrica.

Para el mejoramiento de la eficiencia y minimización del impacto ambiental se ha recomendado la utilización de tecnologías innovadoras con el fin de reducir las emisiones de contaminantes. Además se plantea el uso adecuado de las cenizas, subproducto que puede venderse para la elaboración de materiales de construcción.

Finalmente el estudio económico y financiero muestran que para una inversión en este proyecto de 1,056,691.97 miles de quetzales y un financiamiento del 30 % generará una tasa interna de retorno de 21.98 % para una vida del proyecto de 15 años. El Valor Actual Neto calculado a partir del flujo de efectivo y una tasa de descuento del 15 % es de 213,305.09 miles de quetzales, y el período de recuperación se calcula que será de 2 años y 4 meses.

## ABSTRACT

This work has as objective the design of a plant of generation of electrical energy from mineral coal.

For it the size of the plant was determined from a projection of the demand of energy and electrical power in the country, obtaining therefore a plant whose nominal power is 120 MW. It is recommended that the plant is located in the community of Coyuta, Escuintla due to the proximity to the port Quetzal to facilitate the provision of the fuel.

From the Amount of Nominal power the respective calculations for the parameters were done of the process, obtaining a necessity of production of the boiler of around 402,000 kg/h of superheated steam.

It was determined the flow chart and the balance of matter and energy of the most important equipment for the production of electrical energy.

For the improvement of the efficiency and reduction of the environmental impact the use of innovatives technologies with the purpose of reducing the emissions of polluting agents has been recommended. In addition it considers the suitable use of ashes, by-product that can be sold for the elaboration of construction resources.

Finally the economic and financial study shows that for an investment in this project of 1.056.691,97 thousands of quetzals and a financing of 30% it will generate an internal rate of return of 21.98 % for a life of the project of 15 years. The Net Present Value calculated from the cash flow and a rate of discount of the 15% is of 213,305.09 thousands of quetzals, and the period of recovery is calculated that it will be of 2 years and 4 months.

# ÍNDICE

	Página
PREFACIO	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE GRÁFICOS Y FIGURAS	xiii
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	2
A. Energía y potencia	2
1. Energía y sus formas	2
a. Fuentes no renovables de energía	2
b. Fuentes de energía estables.	3
2. Generación de calor por combustión	3
B. Eficiencia: Rendimiento de procesos	3
1. Conversión de energía mecánica en energía eléctrica.	4
2. Conversión de energía térmica en energía mecánica.	4
C. Energía eléctrica	5
D. Generación de energía eléctrica	6
1. Elementos principales	6
a. Localización y estructuras	6
b. Servicios	7
1) Sistema de agua de enfriamiento.	7
a) Flujo de agua de enfriamiento al condensador	8
b) Flujo de agua de enfriamiento del generador	8
2) Condensador	9
3) Torre de enfriamiento	10
c. Ciclo térmico	10
d. Equipo	11
1) Turbogenerador.	11
2) Generador de vapor	11
3) Bombas	11
4) Intercambiadores de calor.	12
e. Tuberías y aislamiento	12

	Página
f. Control e instrumentación	13
2. Generación de energía eléctrica en Guatemala	14
a. Historia de la electrificación en Guatemala.	14
b. Oferta y demanda histórica	15
c. Administrador del Mercado Mayorista (AMM)	17
1) Agentes del Mercado Mayorista	17
2) Principios del Mercado Mayorista	18
III. JUSTIFICACIÓN	20
IV. OBJETIVOS	21
A. General	21
B. Específicos	21
V. PROBLEMA A RESOLVER	22
VI. METODOLOGÍA	23
VII. RESULTADOS	25
A. Proyección de demanda de energía eléctrica.	25
B. Localización.	26
C. Organigrama	27
D. Diagrama de flujo	29
E. Balance de materia y energía	30
F. Mejoramiento de eficiencia e impacto ambiental	31
G. Estudio económico	32
H. Datos del equipo principal	32
VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
IX. CONCLUSIONES	38
X. RECOMENDACIONES	39
XI. BIBLIOGRAFÍA	40
XII. APÉNDICE	42
A. Datos utilizados	42
B. Proyección de la demanda de energía eléctrica	48
C. Selección y cálculos de dimensionamiento.	51
D. Salarios	62
E. Gastos de operación y mantenimiento	63
F. Otros gastos	63
G. Inversión estimada	63
H. Condiciones préstamo	65

	Página
I. Depreciación y amortización	66
J. Flujo de caja	67
K. Período de recuperación	69

## LISTA DE TABLAS

		Página
Tabla 1	Flujos de agua típico para enfriamiento de aceites	9
Tabla 2	Requisitos básicos para poder ser agente del mercado mayorista	18
Tabla 3	Proyección de demanda de energía eléctrica	25
Tabla 4	Estudio económico	32
Tabla 5	Datos del turbogenerador	32
Tabla 6	Datos de la caldera	33
Tabla 7	Datos del condensador	33
Tabla 8	Datos de bomba de alimentación	33
Tabla 9	Datos de bomba de condensado	34
Tabla 10	Datos de bomba de circulación	34
Tabla 11	Producto interno bruto	42
Tabla 12	Población histórica	42
Tabla 13	Demanda de energía eléctrica	43
Tabla 14	Proyección del precio spot	44
Tabla 15	Precios de combustibles	45
Tabla 16	Análisis típico del carbón	45
Tabla 17	Temperatura de agua de enfriamiento	47
Tabla 18	Parámetros del modelo lineal de variables ponderadas	49
Tabla 19	Análisis del modelo lineal de variables ponderadas	50
Tabla 20	Pruebas de multicolinealidad entre variables independientes	50
Tabla 21	Bomba Modelo 3600 6x8-13D 8 etapas	59
Tabla 22	Bomba Modelos VIT/VIC/VIS 11 CHC	61
Tabla 23	Bombas Modelos VIT/VIC 50LHXC	62
Tabla 24	Salarios	62
Tabla 25	Gastos de operación y mantenimiento	63
Tabla 26	Otros gastos	63
Tabla 27	Pago de la deuda	66
Tabla 28	Depreciación y amortización (SMARC)	66
Tabla 29	Flujo de caja. Años 1-5	67
Tabla 30	Flujo de caja. Años 6-10	67
Tabla 31	Flujo de caja. Años 11-15	68

# LISTA DE GRÁFICAS Y FIGURAS

## GRÁFICAS

	Página	
Gráfica 1	Demanda histórica de potencia	15
Gráfica 2	Distribución de oferta en la generación de energía	16
Gráfica 3	Oferta de potencia vs demanda de potencia	16
Gráfica 4	Oferta vs demanda de energía	16
Gráfica 5	Proyección de demanda de energía eléctrica	25
Gráfica 6	Proyección de la demanda de potencia	43
Gráfica 7	Superficie específica requerida para plantas termoeléctricas	46
Gráfica 8	Valor predicho en función al valor actual	50
Gráfica 9	Tiempo de recuperación de la inversión	70

## FIGURAS

Figura 1	Organigrama de planta	27
Figura 2	Organigrama de operaciones	27
Figura 3	Organigrama de mantenimiento	28
Figura 4	Organigrama administrativo	29
Figura 5	Diagrama de flujo	29
Figura 6	Balance de masa y energía en el generador de vapor	30
Figura 7	Balance de masa y energía en el transporte del vapor a la turbina	31
Figura 8	Balance de masa y energía en el turbogenerador.	31
Figura 9	Diagrama Sankee para la eficiencia de generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles	46
Figura 10	Pérdidas de una caldera fósil típica	47