

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION ESTUDIOS DE POSTGRADO



MODELADO Y SIMULACION DINAMICA
DE ESQUEMAS DE COGENERACION

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA ELECTRICA CON ESPECIALIDAD
EN POTENCIA

PRESENTA
MIGUEL ANGEL ORTEGA VAZQUEZ

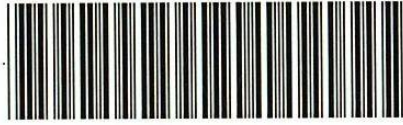
MONTERREY, N. L.

AGOSTO DE 2001

NOVELTY STORES BY
AQUA-ROCKS
DORADO

DE BEERS
COCCO
VIEWA
ION

TM
Z5853
.M2
FIME
2001
07



1020145695

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION ESTUDIOS DE POSTGRADO



MODELADO Y SIMULACION DINAMICA
DE ESQUEMAS DE COGENERACION

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA ELECTRICA CON ESPECIALIDAD
EN POTENCIA

PRESENTA
MIGUEL ANGEL ORTEGA VAZQUEZ

MONTERREY, N. L.

AGOSTO DE 2001

0150-50260

TH
25853
• H2
Fime
2001
07

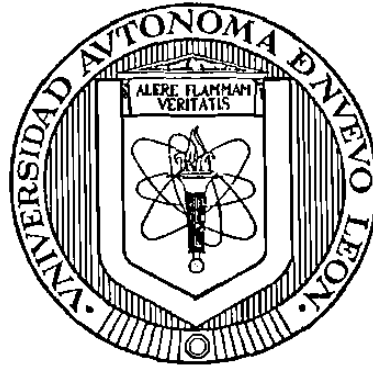


FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE ESQUEMAS
DE COGENERACIÓN**

POR

MIGUEL ANGEL ORTEGA VÁZQUEZ

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ELÉCTRICA CON ESPECIALIDAD EN POTENCIA

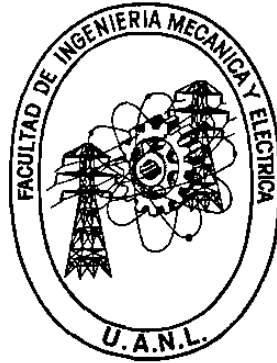
MONTERREY, N. L.

AGOSTO 2001

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE ESQUEMAS
DE COGENERACIÓN**

POR

MIGUEL ANGEL ORTEGA VÁZQUEZ

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ELÉCTRICA CON ESPECIALIDAD EN POTENCIA

MONTERREY, N. L.

AGOSTO 2001

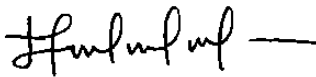
Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Subdirección de Estudios de Postgrado

Los miembros de comité de tesis recomendamos que la tesis **MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE ESQUEMAS DE COGENERACIÓN**, realizada por el alumno Miguel Angel Ortega Vázquez, matrícula 1079848 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Potencia.

El Comité de Tesis



Asesor
Dr. Salvador Acha Daza



Coasesor
Dr. Marcelino Madrigal Martínez



Coasesor
Dr. Rogelio Ramírez Barradas



Vo. Bo.
M. C. Roberto Villareal Garza
División de Estudios de Postgrado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

Mi mamá, la Dra. Andrea Vázquez Cárdenas, una mujer amorosa, firme, disciplinada, comprensiva, generosa, además de madre, amiga fiel. Quien supo inculcar en mí, a través del ejemplo, además del amor por la vida, la necesidad de la superación constante.

Por todo ello, muchas gracias mamá y que Dios te bendiga.

Dedico así mismo éste trabajo al Dr. Sergio A. Molina García, quien me inició en el gusto por las matemáticas y me modeló, por medio de su conducta cotidiana, la importancia de la disciplina, la solidaridad y el respeto. A ti Sergio, por haber sabido ser padre te dedico éste trabajo y te digo sinceramente, muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Salvador Acha Daza por su asesoría para la elaboración del presente trabajo, por su calidad humana y paciencia.

Al Dr. Marcelino Madrigal Martínez, mi más profundo agradecimiento y respeto, un michoacano valioso, generoso con su tiempo y sus conocimientos.

Mi gratitud también para el Dr. Rogelio Ramírez Barradas por sus valiosas observaciones y comentarios.

A todas las personas no tan ajenas a este trabajo, importantes para mi formación y desarrollo como profesionista y ser humano, el Dr. Joaquín Collado Moctezuma, de quien siempre recordaré con gusto su sentido del humor y su calidad como maestro. A la Ing. Diana Acha Izquierdo por su agradable paciencia, además de su reconocida capacidad como profesionista y mujer. Mi gratitud muy sincera también, para el M. C. Lino Coria Cisneros quien además de ser un buen maestro es un buen amigo, características que son difíciles de encontrar reunidas.

A mis compañeros del programa, por brindarme su amistad y grata compañía siempre.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

A Dios.

RESUMEN

Uno de los cambios más significativos en la generación de energía eléctrica a lo largo de los últimos años ha sido la aplicación de distintos esquemas para la generación de energía eléctrica. Algunos de estos esquemas resultan ser más eficientes para la generación de energía como es el caso de las plantas de ciclo combinado y algunos otros utilizan parte de la energía que se genera en el proceso que de otra manera sería desechada, tal es el caso de los esquemas de cogeneración. La importancia de tener modelos adecuados y precisos de este tipo de esquemas de generación radica en el hecho de que cada vez son más y mayores los bloques de generación de energía eléctrica que emplean plantas de ciclo combinado y de cogeneración.

El incremento en capacidad instalada de generación de plantas de cogeneración y ciclo combinado hace que este tipo de plantas tengan un efecto mayor en la respuesta del sistema (regulación de frecuencia, voltaje, etc.) ante perturbaciones. Por este motivo el modelado de la parte mecánica y térmica de éstas plantas requiere un nivel de detalle mayor.

Por esta razón además del hecho de que se requiere conocer los límites de operación que sean seguros para el Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), así como parámetros para poder ajustar los esquemas de protección, y poder predecir de manera “fiel” el comportamiento del SEP ante perturbaciones, se hace necesario contar con modelos dinámicos adecuados para los distintos componentes del SEP. En éste trabajo se presentan modelos dinámicos de los componentes de plantas de generación que emplean el ciclo térmico Rankine y el ciclo térmico Joule Brayton los cuales nos permiten efectuar estudios electromecánicos a nivel de planta en un SEP.

INDICE

Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Resumen	vi
1 INTRODUCCIÓN	
1.1 Motivación y panorama general	1
1.2 Selección de herramientas a utilizar	9
1.3 Descripción del contenido del trabajo	12
2 GENERACIÓN CON BASE A TURBINA DE GAS	14
2.1 Introducción	14
2.2 Sistema de combustible	18
2.3 Compresor	20
2.4 Cámara de combustión	23
2.5 La turbina de gas	25
2.6 Sistema interconectado completo	27
2.7 Simulación	29
2.8 Conclusiones de capítulo	31
3 GENERACIÓN CON BASE A TURBINA DE VAPOR	33
3.1 Introducción	33
3.2 Caldera	35
3.2.1 La cámara de combustión u horno	38
3.2.2 Tubos elevadores	43
3.2.3 Domo o tambor	46
3.2.4 Supercalentador y Atemperador	52
3.2.5 Recalentador	56
3.3 Economizador	59
3.4 Interconectado completo sistema “caldera”	63
3.5 Simulación	65
3.6 Condensador	67
3.6.1 Ecuaciones del material de coraza	69
3.6.2 Ecuaciones del material de las tuberías	70
3.6.3 Ecuaciones del vapor	72
3.6.4 Ecuaciones del líquido	76

3.7	Interconectado completo, sistema “condensador”	77
3.8	Simulación del sistema condensador	78
3.9	La turbina de vapor	80
3.9.1	Sección de alta presión (AP)	82
3.9.2	Sección de presión intermedia (PI)	85
3.9.3	Sección de baja presión (BP)	86
3.10	Simulación de la turbina de vapor con el recalentador del RCGV	86
3.11	Dispositivos varios	89
3.11.1	Desaerador	89
3.11.2	Bomba	93
3.11.3	Válvulas	95
3.12	Conclusiones del capítulo	99
4	SIMULACIÓN DINÁMICA DE PLANTAS DE GENERACIÓN CON TURBINA DE GAS, DE VAPOR, DE CICLO COMBINADO Y COGENERACIÓN.	100
4.1	Introducción	100
4.2	Simulación de plantas con turbina de gas y turbina de vapor	100
4.3	Simulación de un incremento en la demanda de combustible en una planta de generación con turbina de gas.	103
4.4	Simulación de un incremento en el flujo másico de combustible en una planta de generación con turbina de vapor.	108
4.5	Simulación de falla trifásica en terminales del generador, planta de generación con turbina de gas.	114
4.6	Simulación de falla trifásica en terminales del generador, planta de generación con turbina de vapor	116
4.7	Simulación de la operación de una planta de ciclo combinado.	117
4.8	Simulación de la operación de una planta de cogeneración de ciclo combinado.	126
4.9	Planta de cogeneración con turbina de vapor	132
4.10	Planta de Cogeneración con turbina de gas	134
4.11	Esquema de valvuleo rápido en una planta de generación con turbina de vapor	136
4.11.1	Falla trifásica en terminales sin valvuleo rápido	140
4.11.2	Falla trifásica en terminales con valvuleo rápido	141
4.12	Conclusiones del capítulo	143
5	CONTROL SISO DE LAZO CERRADO PARA COMPONENTES DE PLANTAS DE GENERACIÓN	145
5.1	Introducción	145
5.2	Restricciones de variables que intervienen en el proceso	148
5.3	Regímenes de operación de la planta	149
5.3.1	Régimen de estado estable	150
5.3.2	Régimen de cambios de carga	150

5.4	Control de la caldera	151
5.5	Control del bloque de generación con turbina de gas (GTG)	163
5.6	Control del condensador	168
5.7	Control de la turbina de vapor	172
5.8	Conclusiones del capítulo	177
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	178
6.1	Introducción	178
6.2	Resumen del trabajo	180
6.3	Aportaciones del trabajo	182
6.4	Recomendaciones para trabajos futuros	186
	REFERENCIAS	188
	LISTADO DE TABLAS	191
	LISTADO DE FIGURAS	193
	APÉNDICE A BREVES SOBRE MATLAB® Y SIMULINK®	200
A.1	Introducción	200
A.2	Power Systems Blockset	202
A.3	Implementación en SIMULINK®	203
A.4	Formulación en variables de estado	204
A.5	Encapsulado de Subsistemas	206
A.6	Edición del Subsistema	208
A.7	Enmascaramiento del Subsistema	209
A.7.1	Página de documentación	210
A.7.2	Página de Inicialización	212
A.7.3	Página del Icono	213
	APÉNDICE B LAZOS ALGEBRAICOS	215
B.1	Introducción	215
B.2	Ejemplo	216
	APÉNDICE C DIMENSIONAMIENTO Y PARÁMETROS DE LOS MODELOS EMPLEADOS	219
	APÉNDICE D GLOSARIO	222
	APÉNDICE E NOMENCLATURA	225