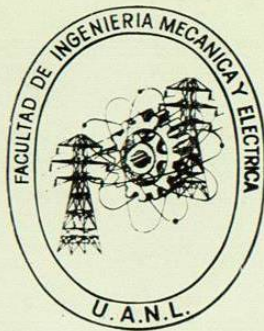


**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



UTILIZACION EFICAZ TEORICO PRACTICA DE  
LA CARTA DE OPERACION PARA MAQUINAS SINCRONAS

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA ELECTRICA  
CON ESPECIALIDAD EN POTENCIA

P R E S E N T A

*Ing. Juan de Dios Alton Barrios*

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 1993

TM

Z5853

.M2

FIME

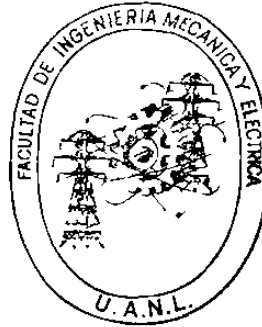
1993

A4



1020070654

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



UTILIZACION EFICAZ TEORICO PRACTICA DE  
LA CARTA DE OPERACION PARA MAQUINAS SINCRONAS

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA ELECTRICA  
CON ESPECIALIDAD EN POTENCIA

P R E S E N T A

*Ing. Juan de Dios Altamirano Barrios*

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 1993



FONDO TESIS

25994

*A NUESTRO DIOS PADRE  
TODOPODEROSO CREADOR DEL CIELO  
Y DE LA TIERRA  
TARDO PARA LA IRA  
Y  
GRANDE EN MISERICORDIA  
Y  
VERDAD  
REY DE REYES  
Y  
SEÑOR DE SEÑORES*

*A MI MADRE:*

*SRA. ROSA BARRIOS VIUDA DE ALTON*

*GRACIAS POR SU CARIÑO  
IMPARTIDO DESDE NIÑO.*

*A MIS HERMANOS:*

*RENE ALTON BARRIOS  
CARLOS MOISES ALTON BARRIOS*

*POR SU APOYO EN MIS  
ESTUDIOS PROFESIONALES.*

*A MI ESPOSA:*

*GUADALUPE CARRILLO DE ALTON*

*POR SU PACIENCIA Y AGUANTE  
DURANTE LA ELABORACION DE  
ESTE TRABAJO.*

*A MIS HIJOS:*

*JUAN DE DIOS ALTON CARRILLO  
ARELI ABIGAHIL ALTON CARRILLO  
AZALIA ELIZABETH ALTON CARRILLO*

*CON CARIÑO PARA ELLOS.*

*A MI ASESOR:*

*M.C. FERNANDO BETANCOURT RAMIREZ*

*JEFE DEL DEPARTAMENTO DE PLANEACION  
CENTRO NACIONAL DE CONTROL ELECTRICO  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD*

*EN SINCERO RECONOCIMIENTO  
A SUS OPINIONES Y SUGERENCIAS,  
LAS CUALES HICIERON POSIBLE  
LA REALIZACION DE ESTA TESIS.*



*A NUESTRO SEÑOR DIRECTOR  
ING. JOSE ANTONIO GONZALEZ TREVIÑO*

*AL CUAL ADMIRO POR SU  
TRAYECTORIA EN LA FACULTAD.  
GRACIAS POR SU RESPALDO  
DESINTERESADO Y SINCERO.*

*AL SUB-DIRECTOR DE LA ESCUELA  
DE GRADUADOS*

*M.C. MARCO ANTONIO MENDEZ CAVAZOS*

*POR SU RESPALDO Y APOYO  
DESINTERESADO Y SINCERO.*

*RECONOCIMIENTO ESPECIAL:*

*A LOS FUNCIONARIOS RESPONSABLES DEL  
CENTRO NACIONAL DE CONTROL ELECTRICO,  
POR LA GENTILEZA DE SUS ATENCIONES  
EN SUMINISTRO DE INFORMACION VALIOSA  
PARA SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA.*

*M.C. HUMBERTO SALINAS BARRERA  
JEFE DEPTO. DE ANALISIS  
AREA DE CONTROL - MONTERREY, N.L.*

*M.C. MARCOS VALENZUELA ORTIZ  
JEFE DEPTO. DE ANALISIS  
AREA DE CONTROL - BAJA CALIFORNIA, B.C.*

*ING. JUAN MANUEL REYES SANCHEZ  
JEFE DEPTO. DE ANALISIS  
AREA DE CONTROL - GOMEZ PALACIO, DGO.*

*AGRADECIMIENTO TOTAL:*

*AL PERSONAL CALIFICADO DE LA  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD,  
POR EL APOYO TECNICO ESPECIALIZADO  
COMPLETAMENTE BRINDADO. .*

*ING. RAUL GONZALEZ GARZA  
SUPERINTENDENTE ELECTRICO  
REGION DE PRODUCCION NORTE*

*ASISTENTES:*

*ING. CARLOS URRETA  
ING. JUAN LUIS LOZANO  
ING. JOSE JIMENEZ*

*GRACIAS*

*A TODAS LAS PERSONAS DE*

*LA DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO*

*LA FACULTAD DE INGENIERIA  
MECANICA Y ELECTRICA*

*QUE CONTRIBUYERON  
CON SU APOYO MORAL  
A REALIZAR ESTA OBRA.*

*PARA USTEDES TODA MI GRATITUD.*

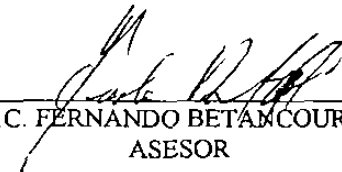
*J.D.A.B.*

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO


Los miembros del comite, de tesis recomendamos que la  
presente tesis realizada por el ING. JUAN DE DIOS ALTON  
BARRIOS sea aceptada como opción para obtener el grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERIA ELECTRICA  
con especialidad:

POTENCIA ELECTRICA.

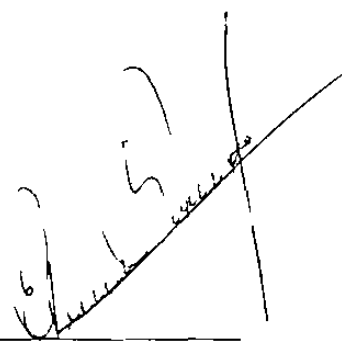
EL COMITE DE TESIS



M.C. FERNANDO BETANCOURT RAMIREZ  
ASESOR



M.C. FELIX GONZALEZ ESTRADA.  
COASESOR



M.C. EVELIO GONZALEZ F.  
COASESOR

## INDICE

RESUMEN

PROLOGO

ABREVIATURAS

### CAPITULO I ELEMENTOS DE CONSTRUCCION DE LA MAQUINA SINCRONICA.

	PAGINAS
I.1) INTRODUCCION.....	2
I.2) ELEMENTOS FISICOS.....	3
I.3) ELEMENTOS AUXILIARES.....	5
I.4) CLASIFICACION GENERAL.....	6
I.5) CONJUNTOS CONSTRUCTIVOS.....	8

### CAPITULO II ELEMENTOS DE OPERACION DE LA MAQUINA SINCRONICA

II.1) INTRODUCCION.....	15
II.2) OPERACION DE LA MAQUINA SINCRONICA.....	17
II.3) DIAGRAMAS MONOFASICOS DE FUNCIONAMIENTO.....	24
II.4) MAQUINA CON ROTOR DE POLOS LISOS.....	30
II.5) MAQUINA CON ROTOR DE POLOS SALIENTES.....	32

### CAPITULO III ANALISIS MATEMATICO DE LA MAQUINA SINCRONICA

III.1) INTRODUCCION.....	37
III.2) RELACIONES MATEMATICAS.....	39
III.3) TRANSFORMACION DE ECUACIONES.....	45
III.4) IMPEDANCIAS OPERACIONALES.....	51
III.5) TOPICOS ESPECIALES.....	54

### CAPITULO IV ANALISIS TEORICO DE POTENCIAS ELECTRICAS

IV.1) INTRODUCCION.....	68
IV.2) DIAGRAMA GENERICO DE POTENCIAS.....	74
IV.3) POTENCIA ELECTRICA COMPLEJA.....	80
IV.4) CURVA DE POTENCIA VS ANGULO DE POTENCIA PARA MAQUINA DE POLOS LISOS.....	85
IV.5) CURVA DE POTENCIA VS ANGULO DE POTENCIA PARA MAQUINA DE POLOS SALIENTES.....	89

CAPITULO V ANALISIS TEORICO DE LA CARTA DE OPERACION PARA LA  
MAQUINA SINCRONICA.

V.1)	INTRODUCCION.....	94
V.2)	DIAGRAMA CIRCULAR.....	95
V.3)	CONDICIONES DE CAPABILIDAD.....	98
V.4)	PROCEDIMIENTO GRAFICO.....	100
V.5)	ANALISIS DE LA CARTA DE OPERACION.....	104

CAPITULO VI APLICACION DE LA CURVA DE CAPABILIDAD EN GENERADORES  
DE POLOS LISOS

VI.1)	GENERALIDADES.....	108
VI.2)	OBTENCION IDEAL DE DATOS Y PARAMETROS.....	112
VI.3)	DETERMINACION IDEAL DE LA CURVA DE CAPABILIDAD.....	114
VI.4)	OBTENCION REAL DE DATOS Y PARAMETROS.....	116
VI.5)	DETERMINACION REAL DE LA CURVA DE CAPABILIDAD.....	119

CAPITULO VII APLICACION DE LA CURVA DE CAPABILIDAD EN GENERADORES  
DE POLOS SALIENTES.

VII.1)	GENERALIDADES.....	124
VII.2)	OBTENCION IDEAL DE DATOS Y PARAMETROS.....	127
VII.3)	DETERMINACION IDEAL DE LA CURVA DE CAPABILIDAD.....	131
VII.4)	OBTENCION REAL DE DATOS Y PARAMETROS.....	135
VII.5)	DETERMINACION REAL DE LA CURVA DE CAPABILIDAD.....	138

CONTRIBUCIONES FINALES.....	141
-----------------------------	-----

ANEXOS.....	147
-------------	-----

BIBLIOGRAFIA.....	157
-------------------	-----

## RESUMEN

Es de la máxima importancia, un estudio previo de la máquina sincrónica, ya que el propósito principal de esta tesis está ligado en forma imprescindible con ésta.

Por lo anterior es conveniente un conocimiento somero de su estructura, con sus componentes de construcción esenciales que la integran.

También el funcionamiento normal para su conversión de energía, distinguiendo cuando la máquina eléctrica trabaja como motor, o bien como generador.

Se presenta una revisión matemática de los parámetros a utilizar en las ecuaciones fundamentales y en los diagramas fasoriales de operación.

Realizando un análisis suficiente del manejo de las energías utilizadas, acentuando lo que ocurre con el flujo de sus diferentes potencias.

El desarrollo de esta tesis pretende demostrar en forma adecuada, la consideración siguiente, como hipótesis de trabajo:

La carta de operación muestra en forma objetiva (mediante una gráfica, conocida como curva de capacidad) las condiciones de funcionamiento correcto dentro de los límites de seguridad, para cada Generador sincrónico.

En términos sencillos se trata de la representación mediante un dibujo, de las especificaciones de la unidad, en un diagrama genérico de potencias.

Siendo el objetivo el presentar las características teórico prácticas de la curva de operación; Se investigan las posibilidades y limitaciones de la máquina, según las condiciones reales existentes en una Central Generadora de Energía Eléctrica.



## PROLOGO

Los principios generales de la utilización eficaz teórico-práctica de la carta de operación para máquinas sincrónicas son tratados en esta investigación.

El desarrollo gráfico ya especializado del Diagrama de Potencias para la determinación de la curva de capacidad, permite una comprensión completa para una ulterior aplicación práctica.

Se describen los elementos físicos constituyentes de una máquina sincrónica con la separación de sus partes mecánicas y eléctricas (Capítulo I).

Se presenta una explicación de su comportamiento y de sus fundamentos teóricos necesarios, como: formulación de sus ecuaciones fundamentales, desarrollo de sus circuitos equivalentes y representación de sus diagramas fasoriales (Capítulo II).

El tomar en cuenta un lenguaje conveniente para obtener un entendimiento útil, será considerado por la gran cantidad de términos existentes en el campo de las máquinas eléctricas (Capítulo III).

Desde el análisis de potencias, continuando con las características de funcionamiento, se llega hasta la síntesis gráfica conocida como curva de capacidad (Capítulos IV y V).

Se tratan casos teóricos que demuestran en forma adecuada la aplicación en problemas ideales de la carta de operación, y se tratan casos prácticos que muestran en forma correcta la aplicación en problemas reales de la carta de operación. (Capítulos VI y VII).

Se presentan finalmente las contribuciones de los factores mas relevantes a considerar, para integrarse al campo del conocimiento sobre la curva de capacidad en las máquinas sincrónicas.

## ABREVIATURAS

COG --->	Carta de Operación del Generador Síncrono
COM --->	Carta de Operación del Motor Síncrono
FEM --->	Fuerza Electro-Motriz
FMM --->	Fuerza Magneto-Motriz
GPL --->	Generador Síncrono Rotor Polos Lisos
GPS --->	Generador Síncrono Rotor Polos Salientes
GSG --->	Generador Síncrono General
MAG --->	Motor Asíncrono General
MEL --->	Limitador de Mínima Excitación
MPL --->	Motor Síncrono Rotor Polos Lisos
MPS --->	Motor Síncrono Rotor Polos Salientes
MSG --->	Motor Síncrono General
MST --->	Máquina Síncrona Trifásica
OEL --->	Limitador de Máxima Excitación
PSS --->	Sistema Estabilizador de Potencia
RAV --->	Regulador Automático de Voltaje
SEP --->	Sistema Eléctrico de Potencia
VHL --->	Limitador de Volts/Hertz