

## INDICE GENERAL

RESUMEN	V
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE TABLAS	X
INTRODUCCION	Pag. 01
OBJETIVO GENERAL	Pag. 02
OBJETIVOS ESPECIFICOS	Pag. 02
METODOLOGIA	Pag. 03
1.- SITUACION ACTUAL.	Pag. 05
2.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	Pag. 10
2.1.- FUNDAMENTOS TEORICOS DE IDENTIFICACION DE SISTEMA.	
2.1.1.- Introducción a Identificación de Sistemas.	Pag. 10
2.1.2.- Tipos de Modelos.	Pag. 12
2.1.3.- Métodos de obtención de modelos.	Pag. 14
2.1.4.- Consideraciones Prácticas sobre Identificación.	Pag. 16
2.1.4.1.- Obtención de datos.	Pag. 16
2.1.4.2.- Elección de la señal a medir.	Pag. 17
2.1.4.3.- Elección del Tipo de entrada.	Pag. 17

2.1.4.4.- Elección del Periodo de muestreo.	Pag. 19
2.1.4.5.- Elección del número de muestras a tomar.	Pag. 19
2.1.5.- Pre- Tratamiento de datos.	Pag. 20
2.1.5.1.- Elección de perturbación de alta frecuencia.	Pag. 21
2.1.5.2.- Eliminación de datos erróneos.	Pag. 21
2.1.5.3.- Tratamiento de niveles de continua.	Pag. 21
2.1.6.- Validación del Modelo.	Pag. 23
2.2.- FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO CONTINUO.	
2.2.1.- Introducción a Sistemas de Control Continuos.	Pag. 26
2.2.2.- Respuesta en el tiempo de Sistemas Continuos.	Pag. 27
2.2.3.- Sintonización de Controladores PID en tiempo Continuo.	Pag. 28
2.3.- FUNDAMENTOS DE SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO.	
2.3.1.- Introducción a los Sistemas Control en tiempo Discreto.	Pag. 30
2.3.2.- El Muestreador.	Pag. 31
2.4.- FUNDAMENTOS DE CONTROL ADAPTATIVO.	
2.4.1.- Introducción al Método de Control Adaptativo –MPC.	Pag. 34
2.4.2.- Estrategia del MPC.	Pag. 37

2.4.3.- Control Adaptativo de Ganancia Programada.	Pag. 41
2.5.- FUNDAMENTOS DE SISTEMAS SCADAS.	
2.5.1.- Introducción.	Pag. 45
2.5.2.- Hardware y Software.	Pag. 46
3.- DISEÑO DE LA SOLUCION.	Pag. 48
3.1.- DISEÑO DE LA PLANTA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA	Pag. 50
3.2.- DISEÑO DE PANTALLAS DE CONTROL.	Pag. 52
3.3.- DISEÑO DE LA PRUEBA.	Pag. 52
4.- IMPLEMENTACION	
4.1.- Construcción de la Planta de Generación de Energía.	Pag. 54
4.1.1.- Selección del Primo Motor para la Planta.	Pag. 55
4.1.2.- Selección del Variador de Frecuencia.	Pag. 56
4.1.3.- Selección del Módulo de Adquisición de Datos.	Pag. 58
4.1.4.- Selección del Medidor de Energía.	Pag. 59
4.1.5.- Selección del Convertidor de Señal de Comunicación.	Pag. 60
4.2.- Implementación de Pantallas de Control.	Pag. 65

## 5.- RESULTADO DE PRUEBAS

Pag. 73

CONCLUSIONES.

RECOMENDACIONES.

ANEXOS.

Anexo No. 01. Datos técnicos del motor eléctrico.

Anexo No. 02. Datos técnicos del variador de frecuencia.

Anexo No. 03. Datos técnicos de tarjeta de adquisición de datos.

Anexo No. 04. Datos técnicos del Medidor de Energía. 04)

Anexo No. 05. Datos técnicos del Convertidor de Protocolo.

Anexo No. 06.- LABORATORIOS.

Laboratorio No. 01.- Identificación de Sistemas por el Método No  
Paramétrico.

Laboratorio No. 02.- Identificación de Sistemas por el Método Paramétrico.

Laboratorio No. 03.- Diseño de Control para la Planta Identificada.

Laboratorio No. 04.- Programación del Control Adaptativo de Ganancia  
Programada.

BIBLIOGRAFIA

## RESUMEN

Uno de los parámetros más importantes de un grupo electrógeno, es la frecuencia de salida de generador, la cual sino se mantiene estable e igual a la referencia seleccionada, causará que la carga eléctrica conectada a este generador tengan un mal desempeño.

En ésta tesis se implementará un Control Adaptativo de Ganancia Programada, para efectuar el control de la frecuencia de salida, de un generador de energía eléctrica, la cual debe recuperarse rápidamente y mantenerse en el valor fijado en la referencia.

Es difícil tener disponible un grupo electrógeno o planta de generación de energía eléctrica, para la aplicación de la técnica de control propuesta, debido a los riesgos implícitos y los costos en los que se incurrirían, razón por la cual se procederá a construir una Planta de Generación de Energía Eléctrica para la implementación de éste control. Adicionalmente se desarrollarán a través del software Labview 8.6, las pantallas del sistema de control y adquisición de datos requeridos.

En el capítulo 1 se explica sobre los diversos tipos de control de la frecuencia de salida, empleados en los grupos electrógenos que son propulsados por motores diesel. También se explica cómo han ido variando, de acuerdo a las regulaciones de control de emisiones de la Agencia de Protección del Medioambiente.

En el capítulo 2 se explican, los fundamentos teóricos requeridos para la interpretación de los resultados, que se obtendrán en las diversas pantallas de control que se implementarán. En la primera parte del capítulo se revisaran los fundamentos de identificación de sistemas, a continuación los fundamentos de Sistemas Continuos, luego los fundamentos de Sistema de Control en Tiempo Discreto, después los fundamentos de Control Adaptativo y finalmente los fundamentos de Sistemas Scada.

En el capítulo 3 se explica el diseño de la solución, en la primera parte se efectúa un diseño preliminar de los elementos principales que forman la planta de Generación de Energía, en la segunda parte se dan los lineamientos generales para el desarrollo de las pantallas de control requeridas. En la tercera parte se explica cómo se obtendrán las funciones de transferencia para los diversos puntos de operación seleccionados.

En la primera parte del capítulo 4, se detalla el proceso de construcción de la Planta de Generación de Energía y los parámetros que se tomaron en consideración, para la selección de los diversos elementos que integran la Planta, en la segunda parte se muestran las diversas pantallas de Control y Monitoreo de la Planta, para la Implementación del Control Adaptativo.

En el capítulo 5 se efectúan las pruebas, las cuales consisten en efectuar la Identificación Paramétrica para encontrar las funciones de transferencia que

representa a la Planta de Generación de Energía en los diversos puntos de operación, una vez encontradas las funciones de transferencia, se las sintoniza usando la interfaz grafica desarrollada para encontrar los valores de  $K_p$ ,  $K_i$  y  $k_d$  correspondientes, que serán ingresados en otra de las pantallas de la interfaz grafica, para habilitar el Control Adaptativo de Ganancia Programada.

En la penúltima sección se exponen las Conclusiones y Recomendaciones respectivamente.

En la última sección están los respectivos Anexos con las especificaciones técnicas de los equipos empleados y la Bibliografía.

## INDICE DE FIGURAS

Figura 01. Gobernador Mecánico de Velocidad.	Pag. 05
Figura 02. Gobernador, actuador y captador magnético.	Pag. 06
Figura 03. Gobernador Electrónico.	Pag. 07
Figura 04. Potencia vs. Velocidad en motores de combustión interna.	Pag. 08
Figura 05. Caída de Frecuencia vs. Tiempo.	Pag. 09
Figura 06. Representación de un sistema.	Pag. 11
Figura 07. Entrada binaria aleatoria para sistemas lineales.	Pag. 18
Figura 08. Entrada escalonada aleatoria para sistemas no lineales.	Pag. 18
Figura 09. Salida $y(t)$ ante entrada $U(t)$ .	Pag. 26
Figura 10. Muestreador.	Pag. 31
Figura 11. Período de muestreo $T$ .	Pag. 32
Figura 12. Producto tren de pulsos por la señal original.	Pag. 32
Figura 13. Tren de impulsos.	Pag. 33
Figura 14. Estrategia de los controladores MPC.	Pag. 37
Figura 15. Modelo para predecir el estado de la salida.	Pag. 41
Figura 16. Sistema de Control en Lazo Abierto.	Pag. 48
Figura 17. Sistema de Control en Lazo Cerrado.	Pag. 49
Figura 18. Diagrama de bloques de la Planta a construirse.	Pag. 51
Figura 19. Motor Eléctrico.	Pag. 56
Figura 20. Variador de Frecuencia.	Pag. 58
Figura 21. Modulo de Adquisición de Datos DAQ 6008.	Pag. 59

Figura 22. Medidor de Energía Power Measurement 3710.	Pag. 59
Figura 23. Convertidor de Protocolo de RS485 a RS232.	Pag. 60
Figura 24. Grupo Motor-alternador.	Pag. 61
Figura 25. Estructura Metálica.	Pag. 61
Figura 26. Base Metálica de estructura.	Pag. 62
Figura 27. Montaje de Tarjetas.	Pag. 62
Figura 28. Proceso de cableado y prueba de equipos.	Pag. 63
Figura 29. Planta terminada.	Pag. 64
Figura 30. Pantalla de Control Principal.	Pag. 65
Figura 31. Pantalla de Parámetros del Alternador.	Pag. 66
Figura 32. Pantalla de Sistema en Lazo Abierto.	Pag. 67
Figura 33. Pantalla de Identificación No Paramétrica.	Pag. 68
Figura 34. Pantalla de Identificación Paramétrica.	Pag. 69
Figura 35. Pantalla de Diseño de Control en tiempo Continuo.	Pag. 70
Figura 36. Pantalla de Diseño de Control en tiempo Discreto.	Pag. 71
Figura 37. Pantalla de Control Adaptativo de Ganancia Programada en Lazo Cerrado.	Pag. 72
Figura 38. Pantalla de Diseño de Control en tiempo Continuo.	Pag. 76
Figura 39. Pantalla de Control Adaptativo de Ganancia Programada en Lazo Cerrado.	Pag. 78
Figura 40. Interruptor de activación de Control Adaptativo de Ganancia Programada.	Pag. 79

Figura 41. Ingreso de referencia de Control Adaptativo de Ganancia Programada.	Pag. 80
Figura 42. Pantalla de Control Adaptativo de Ganancia Programada Ajustado.	Pag. 82

## INDICE DE TABLAS

Tabla 01.	Pag. 77
Tabla 02.	Pag. 77
Tabla 03.	Pag. 81
Tabla 04.	Anexo 6
Tabla 05.	Anexo 6
Tabla 06.	Anexo 6