

**SISTEMA DE ENTRENAMIENTO DE OPERADORES DE
PLANTAS DE GENERACION ELECTRICA FASE I:
REGULACION DE VOLTAJE**

FABIO MORALES GIRÓN

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2011**

**SISTEMA DE ENTRENAMIENTO DE OPERADORES DE
PLANTAS DE GENERACION ELECTRICA FASE I:
REGULACION DE VOLTAJE**

FABIO MORALES GIRÓN

**Tesis de grado presentada para optar al título de
Ingeniero Electrónico**

**Directora
ING. MARTHA LUCIA OROZCO
Grupo de Investigación en Control Industrial (GICI)**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
SANTIAGO DE CALI
2011**

Nota de Aceptación

Firma del Primer Jurado

Firma del Segundo Jurado

Fabio Morales Girón

Firma director del proyecto
Ingeniera Martha Lucia Orozco

***A mis familiares y amigos, fuente de apoyo durante todos estos años.
Soy lo que ustedes han hecho de mí.***

AGRADECIMIENTOS

A la profesora Martha Lucio Orozco por su gran apoyo durante el desarrollo de este trabajo de grado. Extensivo a los profesores contactados, que brindaron asesoría en los momentos más oportunos.

Además, agradecer a James Montoya, encargado de la parte de mantenimiento de Florida II, cuya paciencia y asesoría hizo posible la realización de la investigación vital para la consecución del sistema. Al ingeniero Gustavo Adolfo Sepúlveda por su apoyo y disposición durante el tiempo de este trabajo.

Por supuesto, agradecer a mi familia por su gran colaboración durante toda mi carrera.

TABLA DE CONTENIDO

0. INTRODUCCIÓN	1
0.1. MARCO DEL PROYECTO.	1
0.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.	1
0.3. MOTIVACION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. SISTEMA DE EXCITACIÓN	3
1.1.1. Elementos de un Sistema de Excitación	4
1.1.2. Tipos de Sistemas de Excitación	5
1.1.2.1. Excitación de Corriente Continua	5
1.1.2.2. Excitación de Sistemas de Corriente Alterna	6
1.1.2.3. Sistemas de Excitación Estática	6
1.1.3. Control y Funciones de Protección	7
1.1.3.1. Regulador AC y DC	8
1.1.3.2. Circuitos Estabilizadores del Sistema de control de excitación	8
1.1.3.3. Estabilizador del Sistema de Potencia (PSS)	8
1.1.3.4. Compensador de Carga	9
1.1.3.5. Limitador de Excitación Baja (UEL)	9
1.1.3.6. Limitador de Sobreexcitación (OXL)	10
1.1.3.7. Limitador y Protección Volts/Hertz	11
1.1.3.8. Circuito de Campo-Reducido	12
1.1.4. Fallas Típicas del Sistema de Control de Excitación	12
1.2. REGULADOR DE VELOCIDAD	14
1.2.1. Control de Velocidad y Reguladores	15
1.2.2. Características y tipos de reguladores.	15
1.2.3. Elemento sensor de velocidad.	16
1.2.4. Elemento de control.	16
1.2.5. Elemento amplificador de potencia.	17
1.3. LABVIEW	17
1.3.1. Principales usos.	18
1.3.2. Principales características.	18
2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO.	20
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO.	20
2.1.1. LabVIEW.	21
2.1.2. Dinámicas del Sistema de Control de Excitación y de Velocidad.	21
2.1.3. Sistema Secuencial.	21
2.1.4. Mandos y Variables del Sistema.	22
2.1.5. Estructuras del Sistema Cliente/Servidor.	25
2.1.6. Observaciones y recomendaciones para el uso del sistema de entrenamiento.	34

2.1.7. Informe.	35
3. IMPLEMENTACION DEL SISEMA DE ENTRENAMIENTO.	37
3.1. IMPLEMENTACION DE LOS MODELOS.	37
3.2. IMPLEMENTACION DEL REGULADOR DE VELOCIDAD.	39
3.3. SISTEM DE EXCITACIÓN.	43
3.4. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA PARAMETRIZABLE.	47
3.5. IMPLEMENTACION DE BLOQUES DE INFORME.	50
3.6. MENSAJE AL ENTRENADO.	52
4. PRACTICAS DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO.	54
4.1. ARRANQUE.	56
4.2. SINCRONIZACIÓN.	64
4.3. PARADA.	68
4.3. MONITOREO.	70
4.3. FALLA Y RESPUESTA.	72
5. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	74
6. TRABAJOS FUTUROS	76
7. BIBLIOGRAFÍA	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Diagrama de bloques de un sistema de control de excitación para un generador sincrónico.	4
Figura 1-2. Sistema de control de excitación DC típico.	6
Figura 1-3. Sistema de Control de Excitación y Circuitos de protección.	7
Figura 1-4. Estabilización del sistema de control de excitación con retroalimentación.	8
Figura 1-5. Diagrama esquemático de un compensador de carga.	9
Figura 1-6. La coordinación entre UEL, relé y límite de estabilidad.	10
Figura 1-7. Coordenadas de sobre-excitación límites con la capacidad de campo térmico.	11
Figura 1-8. Circuito de campo bypass usando un varistor.	12
Figura 1-9. Diagrama de bloques básico de un regulador.	16
Figura 1-10. Válvula piloto también denominada válvula o corredera de distribución.	17
 Figura 2-1. Diagrama General.	 20
Figura 2-2. Diagrama de bloques de la estructura del sistema de entrenamiento.	21
Figura 2-3. Panel frontal con los mandos del sistema Arranque, Parada.	23
Figura 2-4. Panel frontal con los mandos del sistema sincronización.	24
Figura 2-5. Panel frontal con los mandos en operación de falla.	25
Figura 2-6. Panel frontal en LabView controlado remotamente.	26
Figura 2-7. Diagrama de flujo configuración cliente/servidor.	27
Figura 2-8. Práctica del arranque.	28
Figura 2-9. Activación del servidor web en LabView.	29
Figura 2-10. Propiedades del VI en LabView.	29
Figura 2-11. Herramienta de publicación Web en LabView.	30
Figura 2-12. Herramienta de publicación Web en LabView.	31
Figura 2-13. Herramienta de publicación Web en LabView.	31
Figura 2-14. Herramienta de publicación Web en LabView.	32
Figura 2-15. Acceso al VI a través del navegador Web.	32
Figura 2-16. Accesos simultáneos e independientes al VI a través del navegador Web.	33
Figura 2-17. Diagrama de bloques informe en LabView.	35
 Figura 3-1. Ventana de parámetros de configuración Simulation Loop.	 37
Figura 3-2. Ventana de parámetros de configuración de Simulation Loop.	38
Figura 3-3. Diagrama MatLab.	39
Figura 3-4. Modulo del regulador de velocidad.	39
Figura 3-5. Modelo de la turbina y el "Penstock".	40
Figura 3-6. Modulo de rotación del eje del grupo turbina generado.	40
Figura 3-7 Diagrama LabView.	41
Figura 3-8. Simulación velocidad MatLab.	42
Figura 3-9. Simulación velocidad LabView.	42
Figura 3-10. Diagrama del sistema de control de excitación en MatLab.	43
Figura 3-11. Diagrama del puente rectificador en MatLab.	43
Figura 3-12. Diagrama de la saturación magnética en MatLab.	43
Figura 3-13. Diagrama del sistema de control de velocidad en LabView.	44
Figura 3-14. Diagrama del puente rectificador en LabView.	44

Figura 3-15. Diagrama saturación en LabView.	45
Figura 3-16. Voltaje de campo simulado en MatLab.	45
Figura 3-17. Voltaje de campo simulado en LabView.	46
Figura 3-18. Voltaje en terminales simulado en MatLab.	46
Figura 3-19. Voltaje en terminales simulado en LabView.	47
Figura 3-20. Constante como señal de control.	47
Figura 3-21. Regulador de Velocidad con las constantes como señales de control.	48
Figura 3-22. Aplicación de la herramienta "Create Simulation Subsystem".	48
Figura 3-23. Modulo regulador de Velocidad.	49
Figura 3-24. Cuadro de dialogo modulo regulador de velocidad.	49
Figura 3-25. Diagrama de bloques informe en LabView.	50
Figura 3-26. Bloque string.	50
Figura 3-27. Variables que representan los mandos para informe en LabView.	51
Figura 3-28. Bloques de arreglos.	51
Figura 3-29. Bloques de búsqueda.	51
Figura 3-30. Bloque "display message to user".	52
Figura 3-31. Configuración "display message to user".	52
Figura 3-32. Ventana emergente "display message to user".	53
Figura 4-1. Diagrama de bloques prácticas.	54
Figura 4-2. Panel frontal con ventanas emergentes.	55
Figura 4-3. Panel frontal con nombre de usuario.	55
Figura 4-4. Diagrama de flujo práctica Arranque.	56
Figura 4-5. Panel de mandos frontal.	58
Figura 4-6. Panel de mandos LabVIEW.	58
Figura 4-7. Barómetros.	59
Figura 4-8. Interruptor de la válvula bypass.	60
Figura 4-9. Barómetros LabVIEW.	60
Figura 4-10. Panel indicadores análogos.	61
Figura 4-11. Indicadores análogos.	61
Figura 4-12. Arranque del regulador de tensión	62
Figura 4-13. Arranque del regulador de tensión LabVIEW.	62
Figura 4-14. Ajuste de tensión manual.	63
Figura 4-15. Diagrama de flujo practica sincronización.	64
Figura 4-16. Caso 1 Sincronoscopio.	65
Figura 4-17. Caso 2 Sincronoscopio.	66
Figura 4-18. Caso 3 Sincronoscopio.	66
Figura 4-19. Sincronoscopio.	67
Figura 4-20. Sincronoscopio.	67
Figura 4-21. Panel frontal de la práctica de sincronización en LabVIEW.	68
Figura 4-22. Diagrama de flujo práctica Parada.	68
Figura 4-23. Panel frontal de la práctica de parada en LabVIEW.	70
Figura 4-24. Implementación panel frontal monitoreo.	71
Figura 4-25. Implementación panel frontal monitoreo.	71
Figura 4-26. Implementación panel frontal monitoreo.	72
Figura 4-27. Implementación falla y respuesta.	72
Figura 4-28. Falla.	73
Figura 4-29. Respuesta.	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1. Tempo vs Voltaje/corriente	10
Tabla 1-2. Limitadores V/HZ para generadores GEN y Trasformadores de subida XFMR	11

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Esquema Regulador de voltaje convencional.

Anexo B. Montaje físico Regulador de voltaje convencional.

GLOSARIO.

Amplidina: es una máquina de campo transversal útil con varios arrollamientos en los polos y escobillas transversales cortocircuitadas que se utiliza como amplificador de potencia y también con funciones de regulador.

ANSI: American National Standards Institute - Instituto Nacional Americano de Estándares

AVR: Automatic Voltage Regulator (Regulador automático de voltaje): dispositivo de hardware empleado para mantener un voltaje específico en dispositivos electrónicos

Corriente Eléctrica Alterna: Se denomina corriente alterna (abreviada C.A. en español) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente.

Corriente Eléctrica Continua: El flujo de corriente en un circuito es llamado continuo si se produce siempre en una dirección. Se le denota como corriente D.C. (Direct current) o C.C. (Corriente continua).

Equipos de protección: Son los elementos que están en condiciones de proteger los equipos ante una falla en el sistema eléctrico y envían señal de actuación a los equipos (Por ejemplo: relés, breakers, fusibles).

Estabilizador de Potencia del Sistema. Es el que provee una señal de salida adicional hacia el regulador, la cual se usa para amortiguar las oscilaciones del sistema.

Excitador: Proporciona la energía eléctrica de alimentación del campo rotatorio del generador sincrónico, constituyendo la fuente de poder del sistema de control de excitación.

Feedback: Significa retroalimentación

Falla: Degradación de componente. Alteración intencional o fortuita de la capacidad de un sistema.

Generador: Una máquina para la conversión de energía mecánica en energía eléctrica, se le llama también Alternador porque produce corriente alterna.

Interruptor: Un dispositivo mecánico o electrónico para cerrar o abrir de manera no automática la corriente de carga de un circuito.

Limitadores y circuitos de protección. Esta unidad incluye un extenso arreglo de control y funciones de protección para garantizar que los límites de capacidad del excitador y el generador no se excedan.

Penstock: es la tubería que lleva el agua a presión desde el canal o el embalse hasta la entrada de la turbina.

PSS: (Power System Stabilizer) Estabilizador del sistema de potencia.

Regulador: procesa y amplifica la señal de entrada a un nivel y forma apropiada para el control. Este incluye ambas regulaciones y funciones de estabilidad del sistema de control de excitación.

Terminal de Voltaje Transductor y Compensador de Carga. Mide el voltaje en bornes del generador y, opcionalmente, estima la diferencia de voltaje hasta el nodo de inyección a la red. Posteriormente rectifica y filtra estos valores a una cantidad DC.

Turbina Hidráulica: Es el elemento que transforma la energía hidráulica en mecánica para accionar el generador.

RESUMEN.

Ante la dificultad que representa para las industrias la falta de preparación de su personal para afrontar los diferentes problemas que se pueden presentar en la operación de sus plantas, es de vital importancia que se recurra a herramientas tecnológicas, mediante las cuales brinden este tipo de preparación y que permite reducir los factores de riesgo. Los sistemas de entrenamiento son usados en diferentes industrias, en este proyecto se presenta el caso de empresas del sector hidroeléctrico.

Una central hidroeléctrica consta principalmente del regulador de velocidad y del regulador de voltaje. En este proyecto se realiza una primera fase en la cual se implementa la plataforma software para el caso del sistema de regulación de voltaje; en las entrevistas realizadas a encargados de mantenimiento en plantas de generación, se concluyó que las tres maniobras fundamentales y básicas que todo operario debe conocer a cabalidad las cuales son el arranque, sincronización y la parada. Para el caso particular de la sincronización se requieren algunas variables del regulador de velocidad, las cuales fueron implementadas.

Las funciones dinámicas del sistema de regulación de voltaje fueron soportadas por los avances previos que se han realizado en este campo, tales como la modelación y control de dichos sistemas (expresado en MATLAB).

En este proyecto se integran las funciones dinámicas, que representan el comportamiento de las variables del sistema, en una plataforma software que permite a un usuario interactuar y ejecutar acciones. Se espera que en un futuro esta herramienta se integre con la de regulación de velocidad, haciéndola eficaz para la capacitación del personal, y puede llegar a ser de gran utilidad para este sector industrial.

0. INTRODUCCIÓN

0.1 MARCO DEL PROYECTO.

Dentro de las diferentes necesidades que se presentan en la industria hidroeléctrica, una de ellas es la capacitación de su personal, éste debe estar preparado para afrontar las diferentes situaciones que puedan surgir dentro del desarrollo de su jornada laboral. Estos escenarios varían en su tipología y requerimientos, por lo que el personal debe afrontar los inconvenientes y maniobras de la mejor manera posible, para ello, se hace muy necesario la implementación de sistemas de entrenamiento como el que se presenta en este proyecto, con el cual puedan evitarse maniobras incorrectas y fallos costosos.

Es importante entender que un sistema de entrenamiento consta de una serie de actividades encaminadas al mejoramiento tanto físico como mental de un sujeto con el fin de optimizar el rendimiento en un campo específico. El sistema planteado consta de dos fases, la primera de ellas se encuentra encaminada al regulador de voltaje, en la segunda fase se tomaría como prioridad el sistema de regulación de velocidad. Partiendo de esta premisa se desarrollo un sistema de entrenamiento basado en una serie de laboratorios que permiten a los operarios afrontar diversas situaciones y maniobras; como el arranque, la parada y posibles fallas del sistema cuando se encuentra en operación.

La base del sistema es el regulador de voltaje, pero se han teniendo en cuenta las variables necesarias para su óptimo funcionamiento, tomadas del sistema de regulación de velocidad. Abriendo el camino para trabajos posteriores en la culminación del sistema.

0.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.

Concebir e implementar un sistema de entrenamiento cliente servidor de operarios para el sistema de regulación de voltaje en plantas de generación eléctrica.

Específicos.

- Definir los mandos y protección de un sistema de regulación de voltaje en una hidroeléctrica.
- Implementar en LABview las dinámicas del regulador de voltaje de un generador así como sus mandos y protecciones.
- Definir e integrar las variables requeridas del regulador de velocidad que permitan la operación del regulador de voltaje.
- Simular en LABview un panel de control donde se pueda observar los mandos, mímicos y alarmas.
- Definir la estructura de programación de tal manera que los módulos sean fácilmente parametrizables.
- Implementar un sistema cliente servidor para la simulación de los fallos del sistema de tal manera que el administrador con permisos especiales pueda introducir fallas, con el fin de que los clientes puedan contrarrestarlas pero sin tener acceso a la raíz del sistema.

0.3 MOTIVACION Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Para minimizar los errores en la operación de plantas que generan energía, se requiere contar con herramientas que le ofrezcan a los nuevos operarios la posibilidad de llegar a la operación del sistema con un nivel de experiencia apropiado, el cual evitara que se presenten situaciones inseguras para el personal y el proceso.

Para el sistema regulación de voltaje las principales maniobras son el arranque, la parada y la sincronización del sistema. En este marco se hace prioritario el desarrollo de un dispositivo que atienda esta demanda, el cual representaría un importante avance en seguridad, confiabilidad y en el rendimiento de este sector. En este proyecto se desarrolla una herramienta que permite entrenar operarios en estas tres maniobras.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. SISTEMA DE EXCITACIÓN.

En las plantas hidroeléctricas la tensión del generador debe ser estrictamente controlada para prevenir daños en la unidad y evitar costosas paradas. Los reguladores automáticos de voltaje en conjunto con sistemas estabilizadores de potencia, protegen con éxito y coadyuvan al mejoramiento de sus condiciones operativas

El objetivo fundamental del sistema de excitación, es realizar el ajuste automático de la corriente de campo del generador sincrónico de modo que se mantenga el voltaje de salida de acuerdo a los valores especificados de consigna (generalmente lo más constante posible).

Desde el punto de vista de su funcionamiento, el sistema de excitación debe ser capaz de responder a perturbaciones, tanto transientes como estacionarias, sin alterar la operación normal del generador. Asimismo, debe ser capaz de integrarse con el resto de los sistemas de protección de los generadores, tales como las protecciones ante fallas de aislación en el rotor debido a altos voltajes, calentamientos en el rotor debido a corrientes de campo, calentamientos en el estator debido a corrientes de armadura, calentamiento por baja excitación de operación y debido a exceso de flujo, etc.

Desde el punto de vista de los sistemas de potencia, el sistema de excitación contribuye a un control efectivo de voltaje y por ello es ampliamente usado para mejorar la estabilidad del sistema. En particular, se usa en coordinación con estabilizadores de potencia (Power System Stabilizer PSS) para amortiguar oscilaciones y en el control rápido ante un disturbio para mejorar la estabilidad transitoria. [2]

1.1.1. Elementos de un Sistema de Excitación.

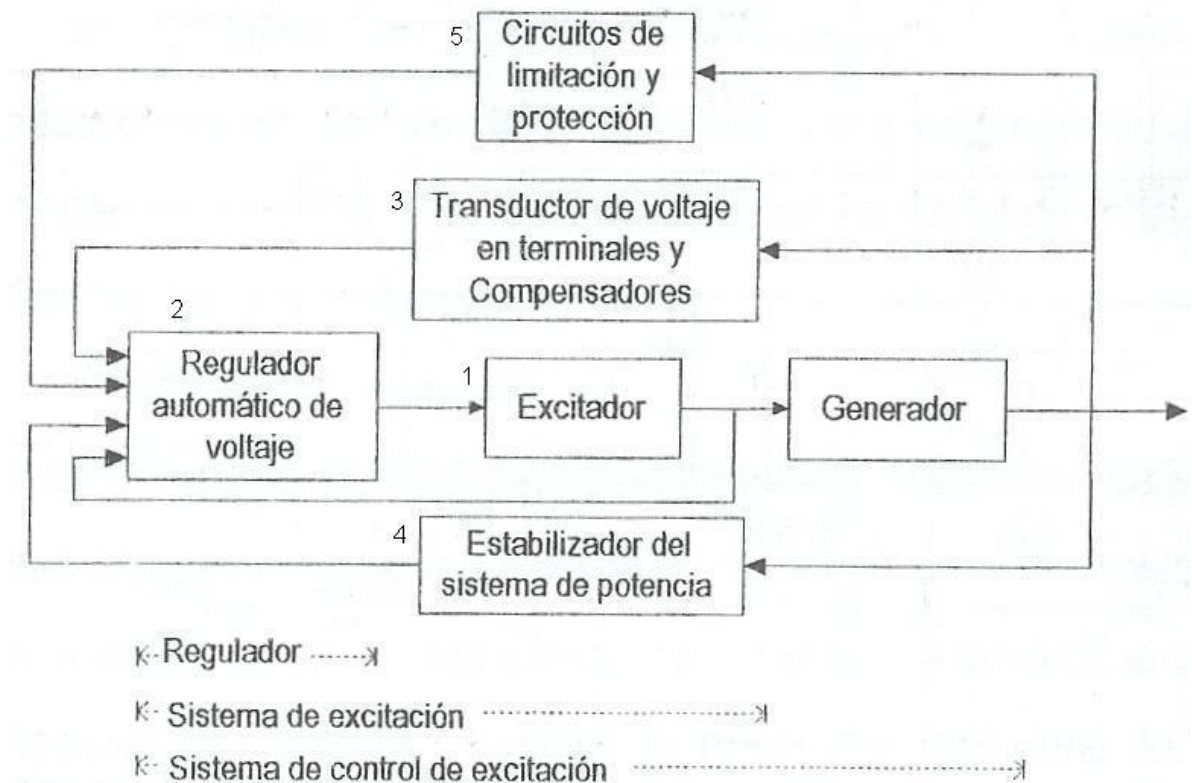


Figura 1-1. Diagrama de bloques de un sistema de control de excitación para un generador síncrono.

La función de cada bloque es la siguiente:

Excitador: Este bloque proporciona la energía eléctrica de alimentación del campo rotatorio del generador síncrono, constituyendo la fuente de poder del SCE (Sistema de Control de Excitación).

Regulador: Este bloque procesa y amplifica la señal de entrada a un nivel y forma apropiada para el control. Este incluye ambas regulaciones y funciones de estabilidad del sistema de control de excitación.

Terminal de Voltaje Transductor y Compensador de Carga. Mide el voltaje en bornes del generador y, opcionalmente, estima la diferencia de voltaje hasta el nodo de inyección a la red. Posteriormente rectifica y filtra estos valores a una cantidad DC.

Estabilizador de Potencia del Sistema. Este bloque provee una señal de salida adicional hacia el regulador, la cual se usa para amortiguar las oscilaciones del sistema. Es opcional su activación.

Limitadores y circuitos de protección. Esta unidad incluye un extenso arreglo de control y funciones de protección para garantizar que los límites de capacidad del excitador y el generador no se excedan.

Algunas de las funciones más usadas son los limitadores de corriente de campo, límite máximo de excitación, limitador de voltaje, regulación y protección de Volts/Hertz y limitador de bajo voltaje.

1.1.2. Tipos de Sistemas de Excitación.

Los sistemas de excitación han tomado muchas formas a través de los años de su evolución. En términos generales, dependiendo de la fuente de poder usada en la excitación se pueden clasificar en tres categorías:

- Corriente continua
- Corriente Alterna
- Estática

1.1.2.1. Excitación de Corriente Continua.

La excitación de este tipo utiliza generadores DC como fuentes de excitación de poder para proveer la corriente al rotor de la máquina síncrona. El excitador puede ser impulsado por un motor o, aprovechando la energía primaria, por el mismo eje del generador. Puede ser excitada por si misma o excitada en forma separada.

Los sistemas de control de excitación de DC representan los primeros sistemas, desde los años 20 a 60. Estos pierden importancia a mediados de los 60 cuando aparecieron fuertemente los de excitación AC. Por ello en la actualidad los sistemas de control de excitación DC están desapareciendo gradualmente, algunos están siendo reemplazados por excitación AC o estáticos. En algunos casos los reguladores de voltaje son reemplazados por modernos dispositivos electrónicos.

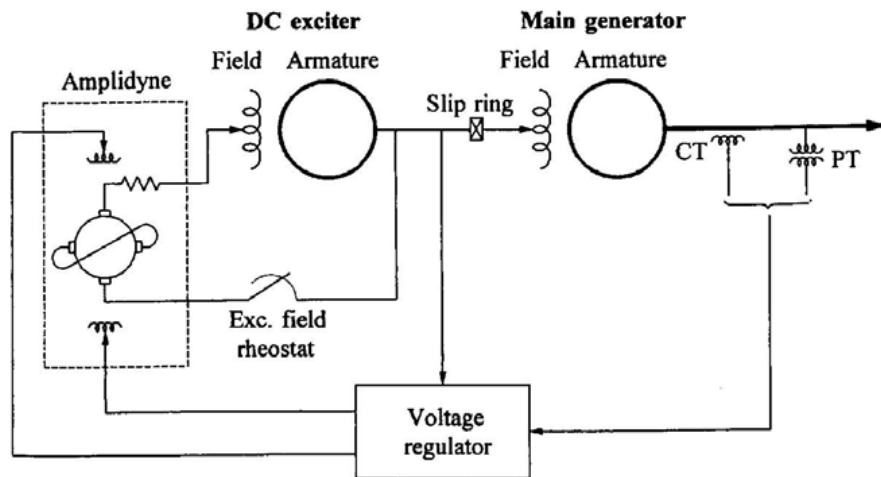


Figura 1-2. Sistema de control de excitación DC típico.

El Amplidyne es una máquina DC de construcción especial que tiene un conjunto de escobillas separadas en 90° eléctricos, uno sobre su eje directo y otro sobre su eje de cuadratura.

1.1.2.2. Excitación de Sistemas de Corriente Alterna.

La excitación de esta categoría utiliza alternadores (maquinas AC) como fuentes para la excitación del generador de poder. Generalmente, el excitador esta montado sobre el mismo eje de la turbina del generador. La salida AC del excitador es rectificada por rectificadores controlados o no controlados, la que produce la corriente continua necesaria para el campo del generador. Los rectificadores pueden ser estacionarios o rotacionales.

Los primeros sistemas de excitación AC usaron una combinación de amplificadores magnéticos y rotacionales como reguladores. Hoy en día se usan dispositivos electrónicos.

1.1.2.3. Sistemas de Excitación Estática.

Todas las componentes en este sistema son estáticas o estacionarias, tanto los rectificadores estáticos, controlados o no controlados, como las fuentes de excitación DC para el campo del generador sincrónico. La fuente de alimentación para los rectificadores se obtiene del generador principal a través de un transformador que baja el voltaje a un nivel apropiado.

1.1.3. Control y Funciones de Protección.

Un moderno sistema de control es mucho más que un simple regulador de voltaje. Este incluye un número de controles, limitadores, y funciones de protección las cuales cumplen con requerimientos deseados. La naturaleza de estas funciones y la manera con la cual interactúan con cada una de las otras se puede ver en la *figura 1-3*. Un sistema puede requerir funciones de protección de acuerdo a los requerimientos específicos de la aplicación y el tipo de excitador.

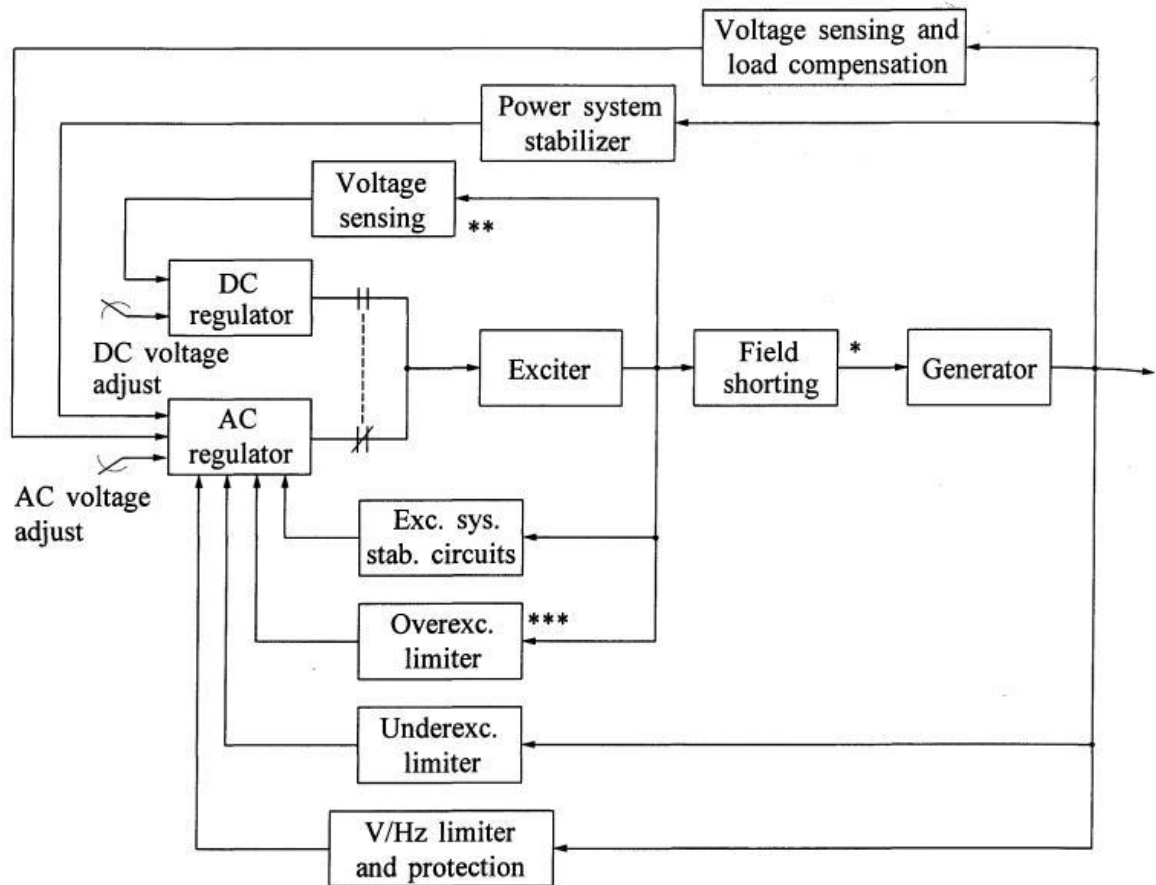


Figura 1-3. Sistema de Control de Excitación y Circuitos de protección.

1.1.3.1. Regulador AC y DC.

La función del regulador AC es mantener el voltaje en el estator del generador, otros controles auxiliares y funciones de protección que se ejecutan a través del regulador AC para controlar el voltaje de campo del generador.

El regulador DC mantiene constante el voltaje en el campo del generador y comúnmente referido como un control manual. Es usado para pruebas y cuando el regulador AC falla. Solo interviene el operario para ajustar el voltaje del campo.

1.1.3.2. Circuitos Estabilizadores del Sistema de control de excitación.

El sistema de control de excitación está compuesto con elementos. Con retardos significativos sosteniendo un pobre desempeño dinámico. Esto es válido para sistemas DC y AC. Por lo tanto el control de estabilización del sistema de excitación incluye una compensación serie o en feedback, que es usado para mejorar el desempeño dinámico del sistema de control.

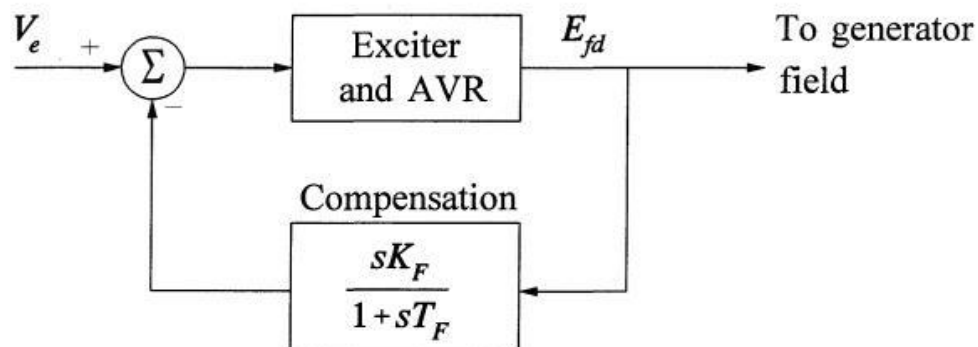


Figura 1-4. Estabilización del sistema de control de excitación con retroalimentación.

El efecto de la compensación es minimizar el cambio de fase introducido por los retardos de tiempo sobre la selección del rango de frecuencia.

1.1.3.3. Estabilizador del Sistema de Potencia (PSS).

Usa una señal estabilizadora auxiliar para controlar el Sistema de control de excitación, y mejorar el comportamiento dinámico del sistema de potencia. Comúnmente utiliza una señal de entrada para estabilizar velocidad, frecuencia y potencia. El comportamiento dinámico es mejorado por el amortiguamiento de las oscilaciones el sistema. Este es un método eficaz en el mejoramiento de la estabilidad en pequeña señal.

1.1.3.4. Compensador de Carga.

El regulador automático de voltaje (AVR) normalmente controla el voltaje en terminales del estator. Algunas veces, la compensación de carga es usada para controlar el voltaje representativo, ya sea dentro o fuera del generador. Este es ejecutado por un circuito adicional en el AVR como e muestra en la *figura 1-11*. El compensador es ajustable por una resistencia y/o reactancia variable que simulan la impedancia entre los terminales del generador y el punto de control del voltaje. Con esto se mide la corriente por armadura, la caída de voltaje es sumada o restada al voltaje en terminales. La magnitud resultante V_c es la que llega al AVR, la expresión queda:

$$V_c = |E_t + (R_c + jX_c)I_t| \quad [4]$$

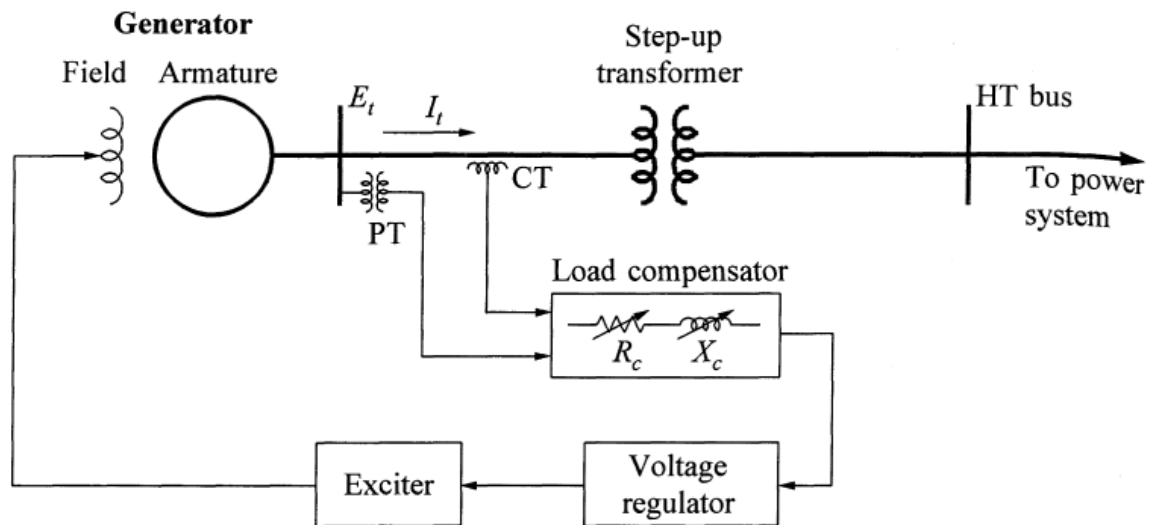


Figura 1-5. Diagrama esquemático de un compensador de carga.

1.1.3.5. Limitador de Excitación Baja (UEL).

Intenta prevenir la reducción de excitación del generador hasta los límites de estabilidad y calentamiento.

La señal de control del UEL está derivada de una combinación de corriente y voltaje o potencia activa y reactiva del generador. Los límites de la señal se presentan cuando excede un valor de referencia.

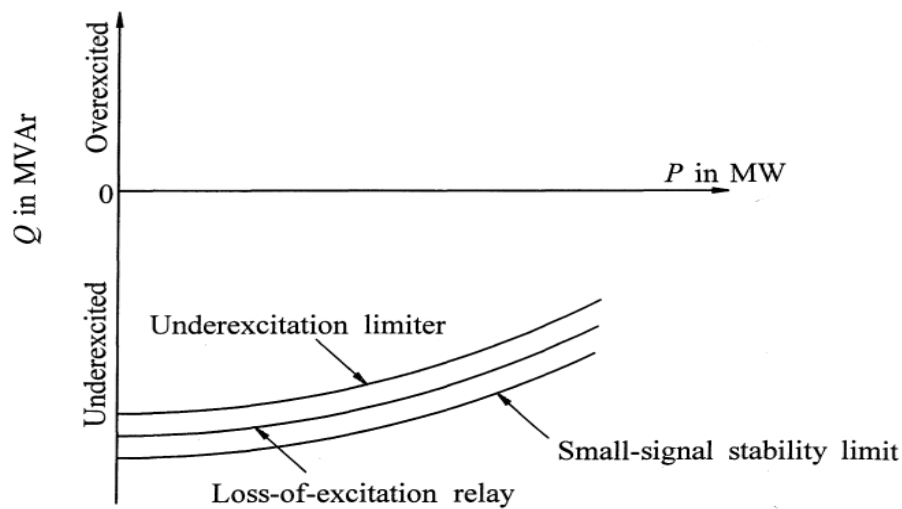


Figura 1-6. La coordinación entre UEL, relé y límite de estabilidad.

1.1.3.6. Limitador de Sobreexcitación (OXL).

Este protege al generados de los sobre calentamientos debido a la prolongada Sobre-corriente de campo. Este también determina el límite de máxima excitación. El campo del generador esta diseñado para operar a un valor de carga correspondiente. El límite de sobre carga en el rotor del generador esta normalizado por ANSI Standard C50.13-1977, la cual entrega la siguiente curva:

Tiempo (s)	10	30	60	120
Voltaje/corriente en el Campo (razón de porcentaje)	208	146	125	112

Tabla 1-1. Tempo vs Voltaje/corriente.

La función límite de sobreexcitación típica, detecta la condición de corriente de campo, y luego de un retardo, actúa a través del regulador AC. Si esto no es exitoso, lo transfiere al regulador DC. Si este tampoco reduce la excitación simplemente desconecta el campo.

Existen dos tipos de retardos en el tiempo: fijo e inverso. El tiempo límite fijo opera cuando la corriente de campo excede el valor pico. El inverso opera de acuerdo a la capacidad térmica del campo.

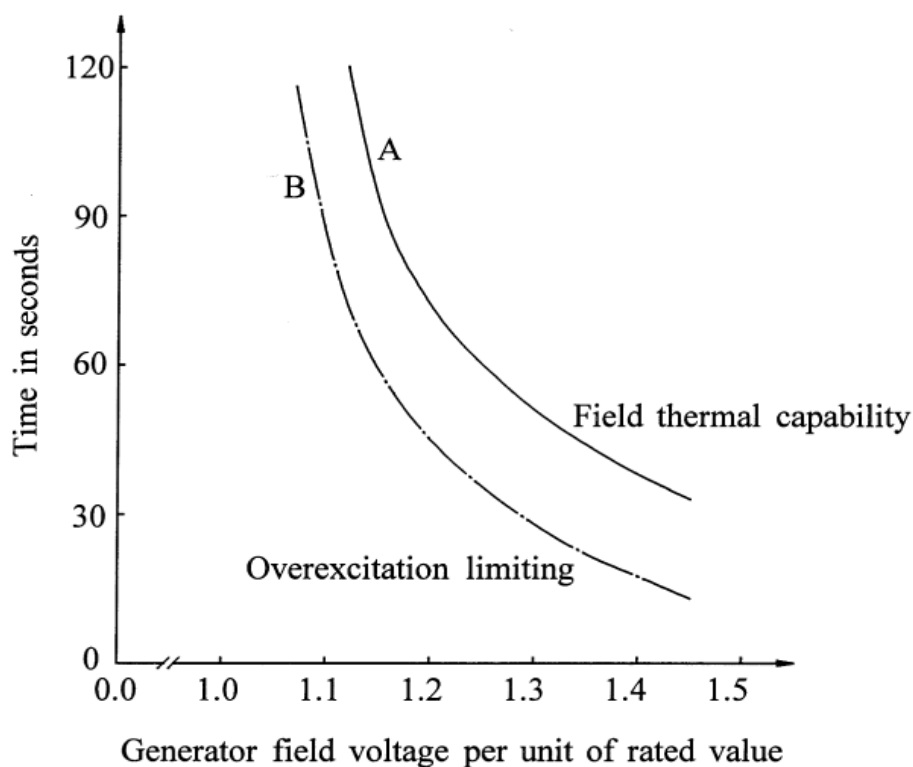


Figura 1-7. Coordenadas de sobre-excitación limites con la capacidad de campo térmico.

1.1.3.7. Limitador y Protección Volts/Hertz.

Este se usa para proteger al transformador debido a un daño provocado por un flujo magnético resultante debido a baja de frecuencia o sobre-voltaje. Un excesivo flujo magnético provoca una saturación en el núcleo lo que lleva a un sobrecalentamiento, lo que provoca daños en el núcleo del generador y transformador.

Típicamente los limitadores V/Hz para generadores (GEN) y transformadores de subida (XFMR) se muestran continuación:

V/HZ		1.25	1.2	1.15	1.10	1.05
Daño en el Tiempo Min.	GEN	0.2	1.0	6.0	20.0	inf
	XFMR	1.0	5.0	20.0	inf	

Tabla 1-2. Limitadores V/Hz para generadores GEN y Trasformadores de subida XFMR.

1.1.3.8. Circuito de Campo-Reducido.

Permite que la corriente rectificadada no fluya en sentido inverso. En la siguiente figura se muestra el esquema característico. Hay un circuito provisto con un bypass en la excitación que permite que la corriente negativa fluya por él. Este cuenta con un tiristor y una resistencia de descarga de campo (FDR).[2]

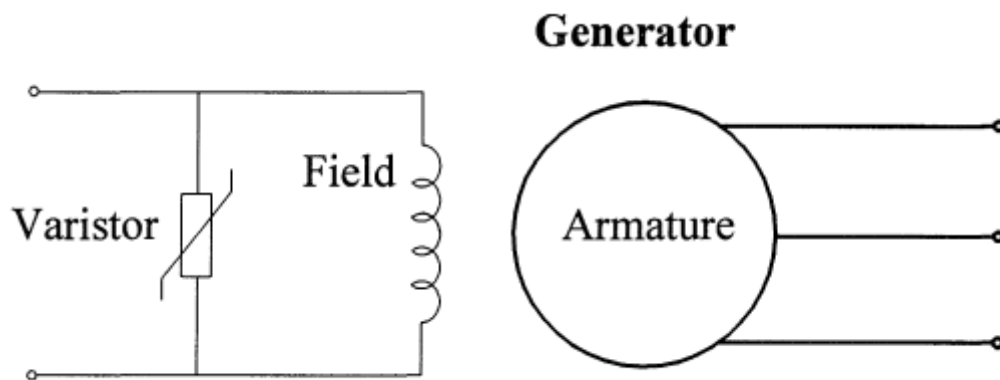


Figura 1-8. Circuito de campo bypass usando un varistor.

1.1.4. Fallas Típicas del Sistema de Control de Excitación.

Para las fallas típicas del sistema de excitación se presentan algunos ejemplos con sus eventos inmediatos.

- Tierra en Rotor
- Disparo por Alta Temperatura Transformador de Excitación
- Disparo por Sobre-corriente en el Transformador de Excitación
- Disparo Ventilador (refrigeración de puentes rectificadores)
- Disparo de Emergencia Activado
- Falla en Puente Rectificador (Principal - Respaldo)
- Falla en Relé de Sobre-corriente

- Falla Sensado de Tensión
- Falla en Fusible de Transferencia
- Falla Externa

Tierra en Rotor: ocurre debido a un bajo aislamiento en el sistema de excitación. Se puede dar en forma gradual por pérdida del aislamiento por temperatura, rozamiento, presencia de impurezas tales como polvo de escobilla o aceite proveniente del sistema de lubricación en cojinetes u otro mecanismo aledaño, o en forma súbita en casos de ruptura del aislamiento, se presentan grandes oscilaciones de tensión.

El evento inmediato posterior a esta falla, es el paro o salida de línea de la unidad y apagado del sistema de excitación y servicios auxiliares.

Disparo por Alta Temperatura Transformador de Excitación: generalmente ocurre por problemas en la refrigeración (forzada o natural) del transformador, bajo nivel de aceite o bajo flujo en los intercambiadores de calor. Para transformadores tipo seco, se refleja en puntos calientes no atendidos, tales como uniones y tornillería asociada al transformador y expuesta a corrientes parásitas por inducción o malos contactos. Otro aspecto que puede influir son valores de corriente muy por encima de la corriente nominal ($>120\%$).

El evento inmediato posterior a esta falla, es el paro o salida de línea de la unidad y apagado del sistema de excitación y servicios auxiliares. En algunas ocasiones, se tiene un transformador de respaldo el cual entraría a realizar la función del principal.

Disparo por Sobre-corriente en el Transformador de Excitación: una sobre-corriente generalmente está asociada a fallas que pueden ser de origen externo (falla tierra-rotor, falla tierra-estator, etc.) o de origen interno (corto entre espiras del devanado del transformador, contacto físico entre un punto energizado del transformador y tierra, contacto entre fases, daño en aisladores, etc.).

El evento inmediato posterior a esta falla, es el paro o salida de línea de la Unidad y apagado del sistema de excitación y servicios auxiliares. En algunas ocasiones, se tiene un transformador de respaldo el cual entraría a realizar la función del principal.

Disparo Ventilador (refrigeración de puentes rectificadores): válido para rectificadores enfriados de manera forzada (por ventilador). Se puede presentar

por fluctuaciones de tensión, activación de las protecciones de los ventiladores, falla en motor del ventilador, falla en el sistema de alimentación del ventilador, etc.

La acción inmediata a esta falla, es alarma en el anunciador, incremento de la temperatura. En la mayoría de este tipo de adecuaciones se tiene un sistema de tiristores y enfriamiento redundantes, es decir, entraría a operar otro banco de tiristores o un ventilador auxiliar de respaldo.

Disparo de Emergencia Activado: es el que ocurre cuando el operador oprime el botón de disparo de emergencia, el motivo por lo general se debe a una falla externa y además cuando no actúen los mecanismos automáticos de disparo.

Falla en Puente Rectificador: ocurre por fallas en los tiristores o diodos rectificadores (dependiendo del modelo del regulador de tensión), fallas en puntos de conexión de los puentes ó fallas en el cableado. También se puede ver influenciado por la actuación de alguna protección asociada al sistema de rectificación.

El evento inmediato es la activación del puente rectificador de respaldo para garantizar la operatividad de la unidad de generación.

Falla Sensado de Tensión: generalmente está asociado a falla por pérdida de la señal de referencia que proviene de los transformadores de potencial. Esto genera inmediatamente el disparo del regulador de tensión debido a que se concibe como una pérdida en la realimentación (sistema de control). [3]

1.2. REGULADOR DE VELOCIDAD.

El objetivo principal de los reguladores o gobernadores es el control de la velocidad en el eje de la turbina y la frecuencia del sistema.

Se requiere que la velocidad se mantenga constante la mayor parte del tiempo, y además, que cuando sufra variaciones, regrese lo más pronto posible al valor de referencia. La frecuencia del voltaje se mantendrá constante siempre que se mantenga constante la velocidad.

El objetivo fundamental del sistema de regulación de velocidad es poder actuar sobre la posición de los órganos que controlan la admisión del agua a las turbinas.

1.2.1. Control de Velocidad y Reguladores.

Se ha visualizado la necesidad que se tiene de actuar sobre los órganos que controlan la admisión de agua a las turbinas. Tal acción requiere un mecanismo de control el cual es el sistema de regulación de velocidad o regulador.

Una disminución de la carga eléctrica produce una tendencia a aumentar la velocidad, debido a la disminución del par antagónico que ejerce sobre el rotor del generador. El regulador entonces, deberá producir una orden de cierre tal que el torque creado por la turbina sea igual al ofrecido por la carga eléctrica sobre el generador, logrando así que la velocidad retorne a la velocidad sincrónica deseada.

La función del regulador es detectar cualquier error en la velocidad entre el valor de velocidad actual y el deseado, y efectuar un cambio en la salida de la turbina.

1.2.2. Características y tipos de reguladores.

Los reguladores pueden ser clasificados en cuatro tipos: los mecánicos o hidráulicos, los electrohidráulicos, los análogos PID, desarrollados en la década del sesenta, y los electrónicos digitales que hacen su aparición en los años ochenta.

Los tres elementos característicos de un regulador de velocidad: el sensor de velocidad, el elemento de control y el dispositivo o elemento amplificador de potencia, se muestran en el diagrama de la *figura 1-9*.

Se observa una separación entre el regulador y la turbina para indicar que efectivamente son equipos diferentes que interactúan.

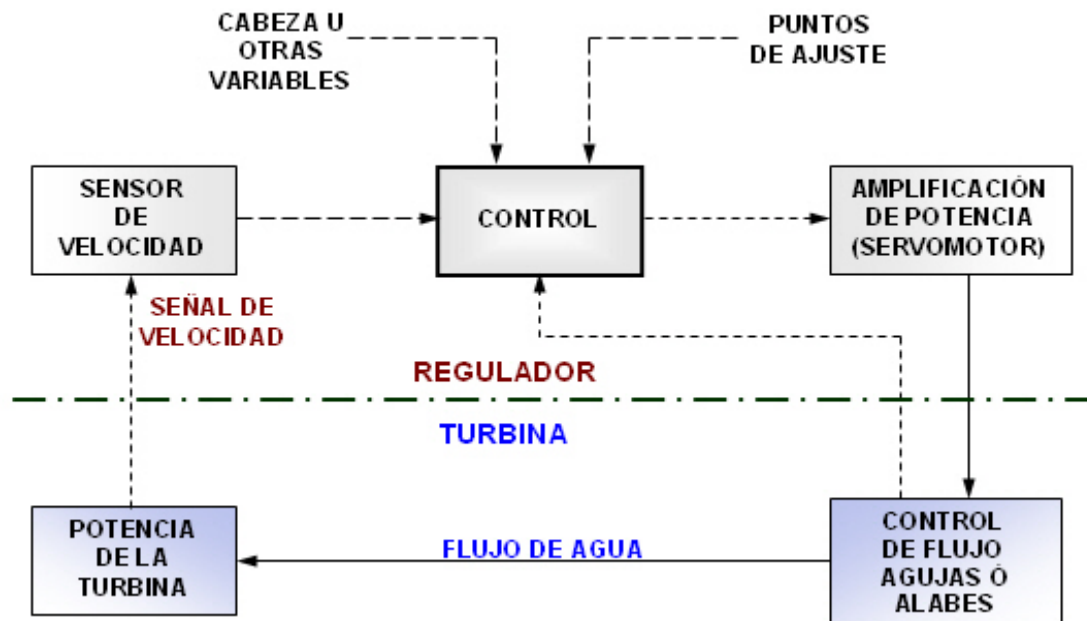


Figura 1-9. Diagrama de bloques básico de un regulador.

1.2.3. Elemento sensor de velocidad.

El sensor de velocidad tiene la función de detectar los cambios que ocurran en la velocidad de la turbina y suministrar una salida proporcional a la misma, que constituirá la señal de entrada al elemento de control.

1.2.4. Elemento de control.

El elemento de control compara el valor de la velocidad de la turbina con el valor de ajuste de velocidad deseado (referencia) y genera una señal de salida para la acción de control requerida, es decir la orden de cierre o apertura a la admisión del agua a la turbina para corregir la desviación de la velocidad de referencia.

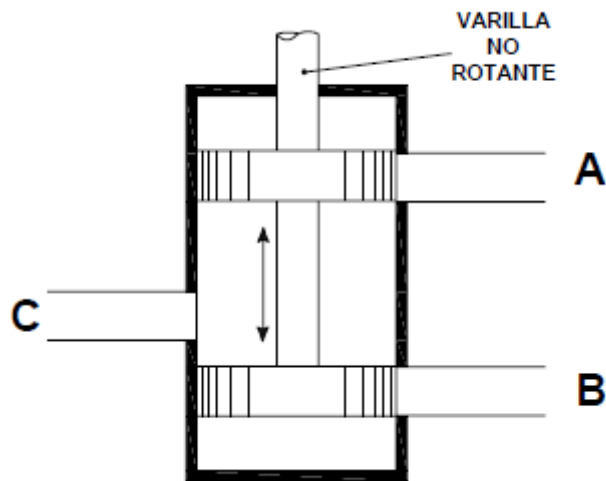


Figura 1-10. Válvula piloto también denominada válvula o corredera de distribución.

1.2.5. Elemento amplificador de potencia.

El elemento de amplificación de potencia produce la fuerza mecánica para posicionar el dispositivo de control del flujo de agua, en respuesta a la salida del elemento de control. Actúa directamente sobre el servomotor que acciona los órganos de admisión de la turbina. [7]

1.3. LABVIEW.

Es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y Linux.

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida.

LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante -tarjetas de adquisición de datos, PAC, Visión, instrumentos y otro Hardware- como de otros fabricantes.

1.3.1. Principales usos.

Es usado principalmente por ingenieros y científicos para tareas como:

- Adquisición de datos y análisis matemático
- Comunicación y control de instrumentos de cualquier fabricante
- Automatización industrial y programación de PACs (Controlador de Automatización Programable)
- Diseño de controladores: simulación, prototipaje rápido, hardware-en-el-ciclo (HIL) y validación
- Diseño embebido de micros y chips
- Control y supervisión de procesos
- Visión artificial y control de movimiento
- Robótica
- Demótica y redes de sensores inalámbricos

1.3.2. Principales características.

Su principal característica es la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales. Los programas en LabView son llamados instrumentos virtuales (Vis), pueden crearse programas de miles de VIs (equivalente a millones de páginas de código texto) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, proyectos para combinar nuevos VIs con VIs ya creados, etc. Incluso existen buenas prácticas de programación para optimizar el rendimiento y la calidad de la programación. El labView 7.0 introduce un nuevo tipo de subVI llamado VIs Expreso (Express VIS). Estos son VIs interactivos que tienen una configuración de caja de diálogo que permite al usuario personalizar la funcionalidad del VI Expreso. El VIs estándar son VIs modulares y personalizables mediante cableado y funciones que son elementos fundamentales de operación de LabView.

Presenta facilidades para el manejo de:

- Interfaces de comunicaciones:
 - Puerto serie
 - Puerto paralelo
 - GPIB
 - PXI
 - VXI
 - TCP/IP, UDP, DataSocket
 - Irda
 - Bluetooth
 - USB
 - OPC...
- Capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones:
 - DLL: librerías de funciones
 - .NET
 - ActiveX
 - Multisim
 - Matlab/Simulink
 - AutoCAD, SolidWorks, etc
- Herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales.
- Visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos.
- Adquisición y tratamiento de imágenes.
- Control de movimiento (combinado incluso con todo lo anterior).
- Tiempo Real estrictamente hablando.
- Programación de FPGAs para control o validación.
- Sincronización entre dispositivos.

2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO.

El sistema de entrenamiento consta de dos partes:

Entrenador: Este tiene acceso al entorno de desarrollo (Labview), en el cual se encuentran implementadas las dinámicas de control de velocidad y las dinámicas de control de excitación, así como el sistema secuencial del arranque y la parada. En estas implementaciones se tiene los mandos y variables del sistema, y permite realizar el montaje del servidor web de Labview para la implementación cliente-servidor.

Entrenado: Accede al sistema por medio de una aplicación en pagina web la cual le permite manipular los mandos y las variables del sistema.

Cuando el entrenado finaliza la práctica, la aplicación envía un informe al entrenador. Esto sucede solo en los laboratorios destinados a la evaluación. El entrenador con la información enviada podrá realizar la evaluación del desempeño del entrenado.

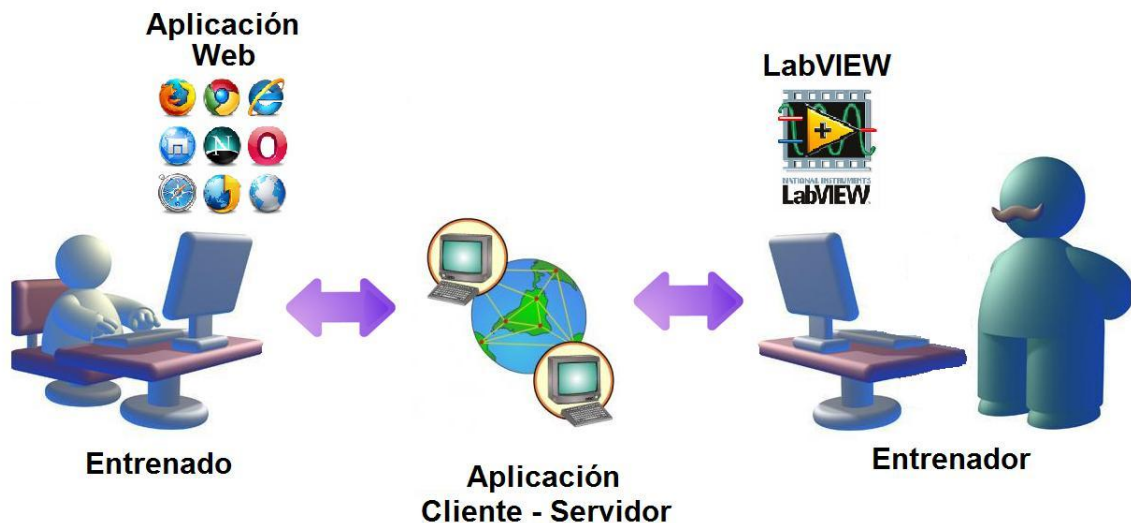


Figura 2-1 Diagrama General.

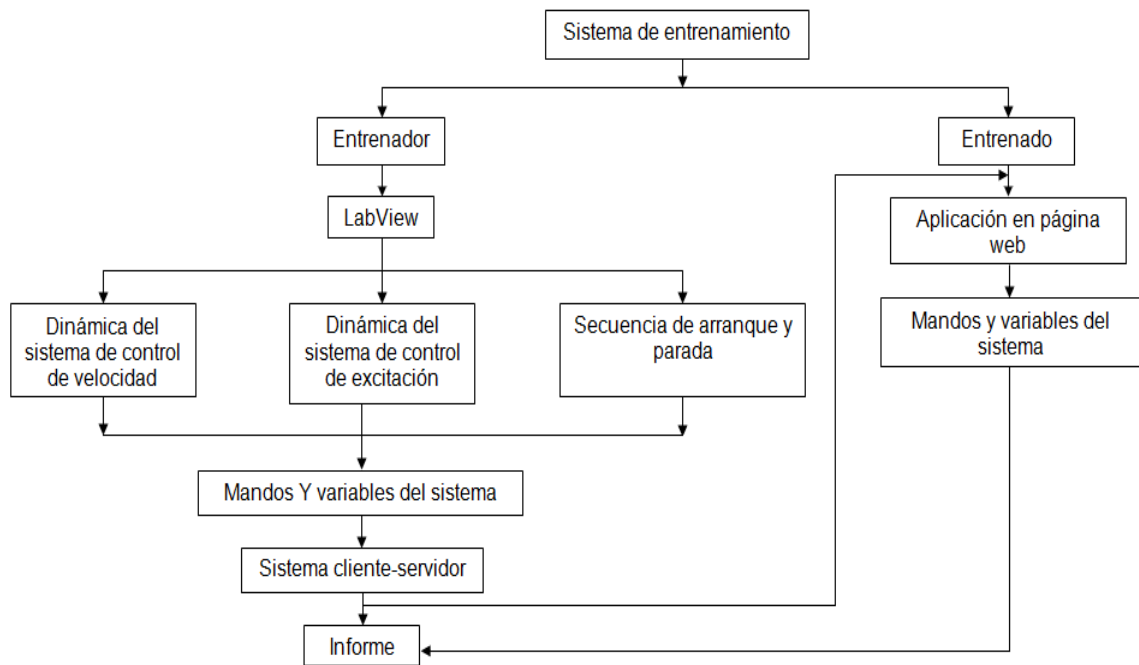


Figura 2-2. Diagrama de bloques de la estructura del sistema de entrenamiento.

2.1.1 LabVIEW.

Se escogió como base para el sistema de entrenamiento el software LabVIEW por su facilidad de programación, su entorno grafico y su compatibilidad con Matlab, esta ultima característica con una especial relevancia debido a que en trabajos previos se implementaron las dinámicas del sistema de excitación y velocidad. [1]

2.1.2 Dinámicas del Sistema de Control de Excitación y de Velocidad.

Se implementaron las dinámicas del sistema de control de excitación de tal manera que permitan tener disponible las señales de voltaje en terminales y campo, para realizar prácticas de entrenamiento, posteriormente se implementan las dinámicas del sistema de control de velocidad. Estas dinámicas se explicaran más detalladamente en el siguiente capítulo.

2.1.3 Sistema Secuencial.

Para el arranque y la parada se utilizaron estructuras de programación fundamental de LabVIEW (Case, while, stacked, sequence structure), que permitieron seguir los pasos necesarios para cumplir con estas maniobras.

En razón a lo anterior el sistema secuencial corresponde a los pasos que debe seguir el operario para realizar las maniobras de arranque, sincronización y parada de la unidad generadora.

2.1.4 Mandos y Variables del Sistema.

Se han implementado los mandos y variables necesarios para un sistema de entrenamiento, estos se determinaron usando información real de plantas, a continuación se menciona cada uno de ellos de acuerdo a los requerimientos de cada operación:

Para el arranque y la parada de una unidad de generación se tienen en cuenta los siguientes mandos e indicadores:

PILOTOS O INDICADORES LUMINICOS

- Indicador bomba 1
- Indicador bomba 2
- Indicador de arranque de cualquiera de las bombas
- Indicador de apertura de la válvula del tanque acumulador
- Indicador de apertura de la válvula bypass
- Indicador de la apertura de la válvula principal o mariposa
- Indicador de la liberación del distribuidor
- Indicador para cierre del interruptor de campo

PANEL DEL REGULADOR DE VOLTAJE

- Piloto del regulador desconectado
- Piloto del regulador conectado
- Piloto del interruptor abierto
- Piloto de Sub excitación
- Piloto de Sobre excitación

SWITCH

- Switch para selección bomba 1
- Switch para selección bomba 2
- Switch para arranque bomba seleccionada
- Switch para apertura válvula piloto tanque acumulador
- Switch para apertura válvula bypass
- Switch para apertura válvula principal o mariposa
- Switch para liberación del distribuidor
- Pulsador start, stop

INTERRUPTORES

- Interruptor de campo
- Interruptor de aumento y disminución de velocidad (Frecuencia)

INDICADORES

- Barómetros
- Presión tanque acumulador
- Barómetro presión de Frecuencia
- Indicador de voltaje

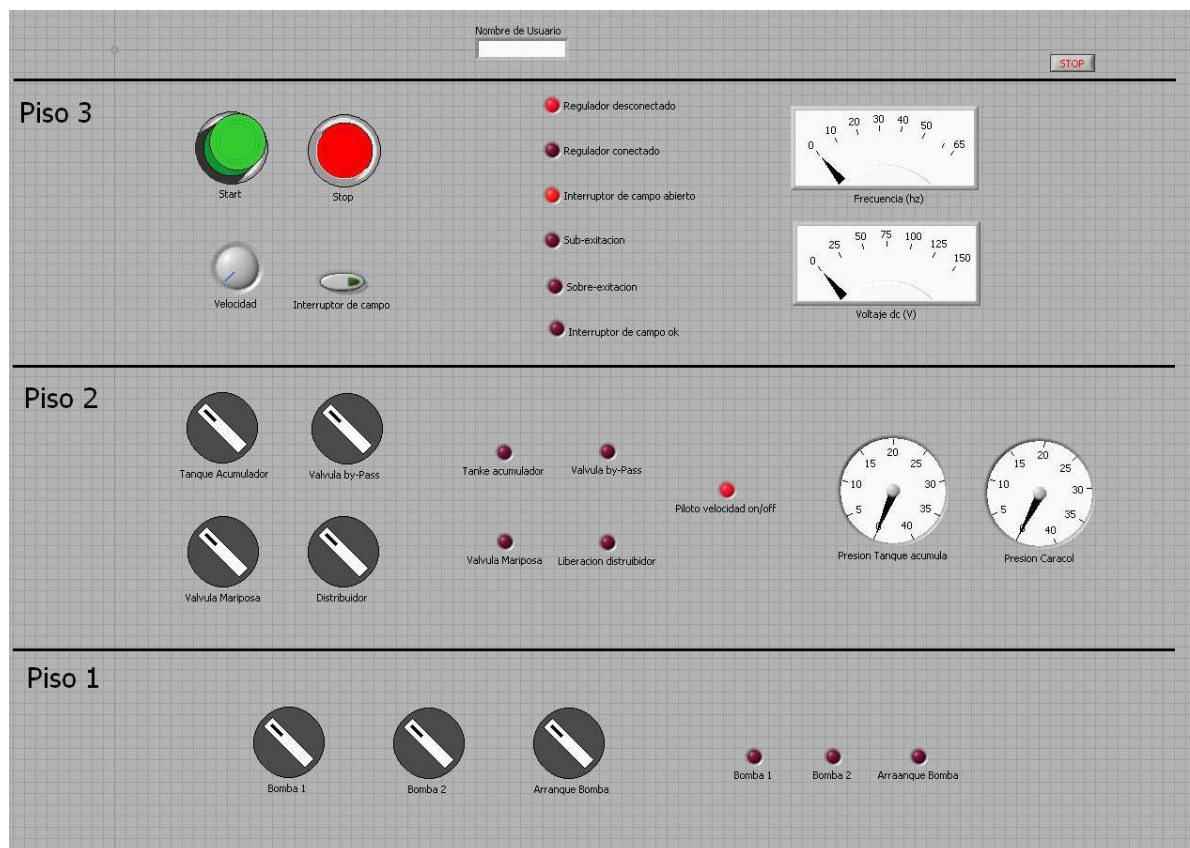


Figura 2-3. panel frontal con los mandos del sistema Arranque, Parada.

Para sincronización de una unidad generadora se tienen en cuenta los siguientes mandos e indicadores:

INDICADORES

- Indicador de voltaje
- Indicador de frecuencia

MANDOS DE AUMENTO Y DISMINUCION

- Mando de voltaje
- Mando de frecuencia

INDICADOR

- Sincronoscopio

INTERRUPTOR

- Interruptor de sincronismo

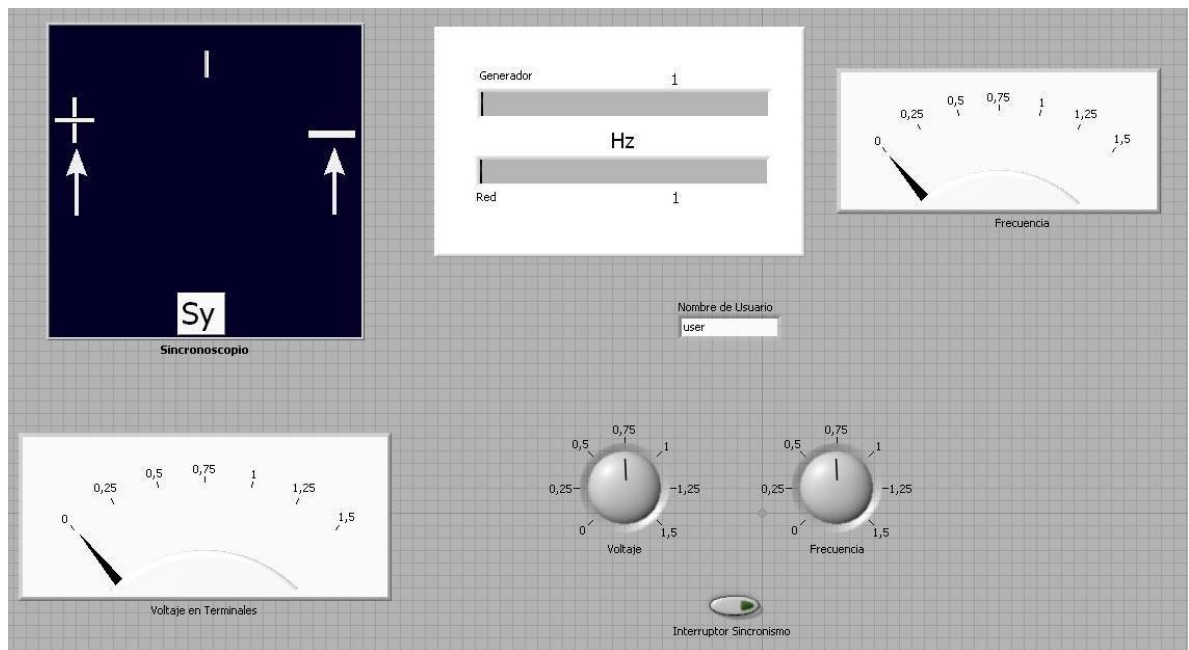


Figura 2-4. Panel frontal con los mandos del sistema sincronización.

En una operación de falla, los mandos e indicadores que se requieren son:

- Pulsador para la parada de emergencia
- Indicador de voltaje en terminales
- Indicador de voltaje de campo
- Indicador de corriente de campo
- Switch automático-manual

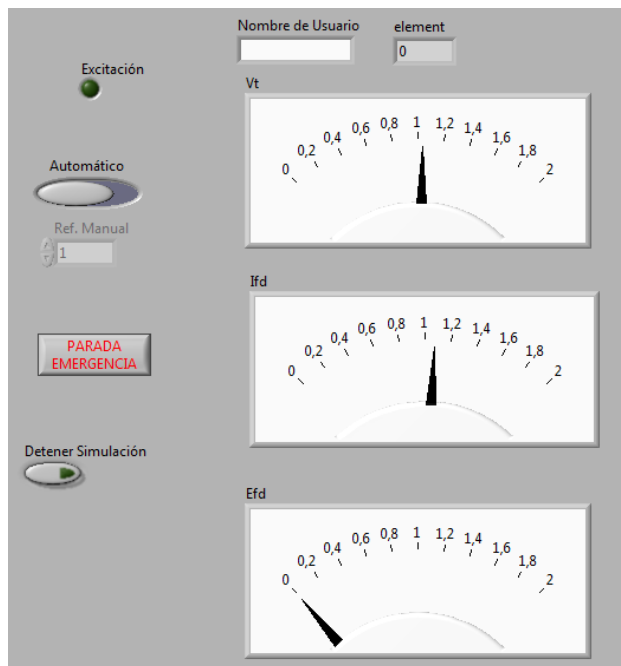


Figura 2-5. Panel frontal con los mandos en operación de falla.

2.1.5 Estructura del Sistema Cliente/Servidor.

En un entorno cliente/servidor los equipos clientes (equipos que forman parte de una red) se contactan a un servidor, un equipo generalmente muy potente en materia de capacidad de entrada/salida, que proporciona servicios a los equipos clientes. Estos servicios son programas que proporcionan datos como la hora, archivos, una conexión, etc.

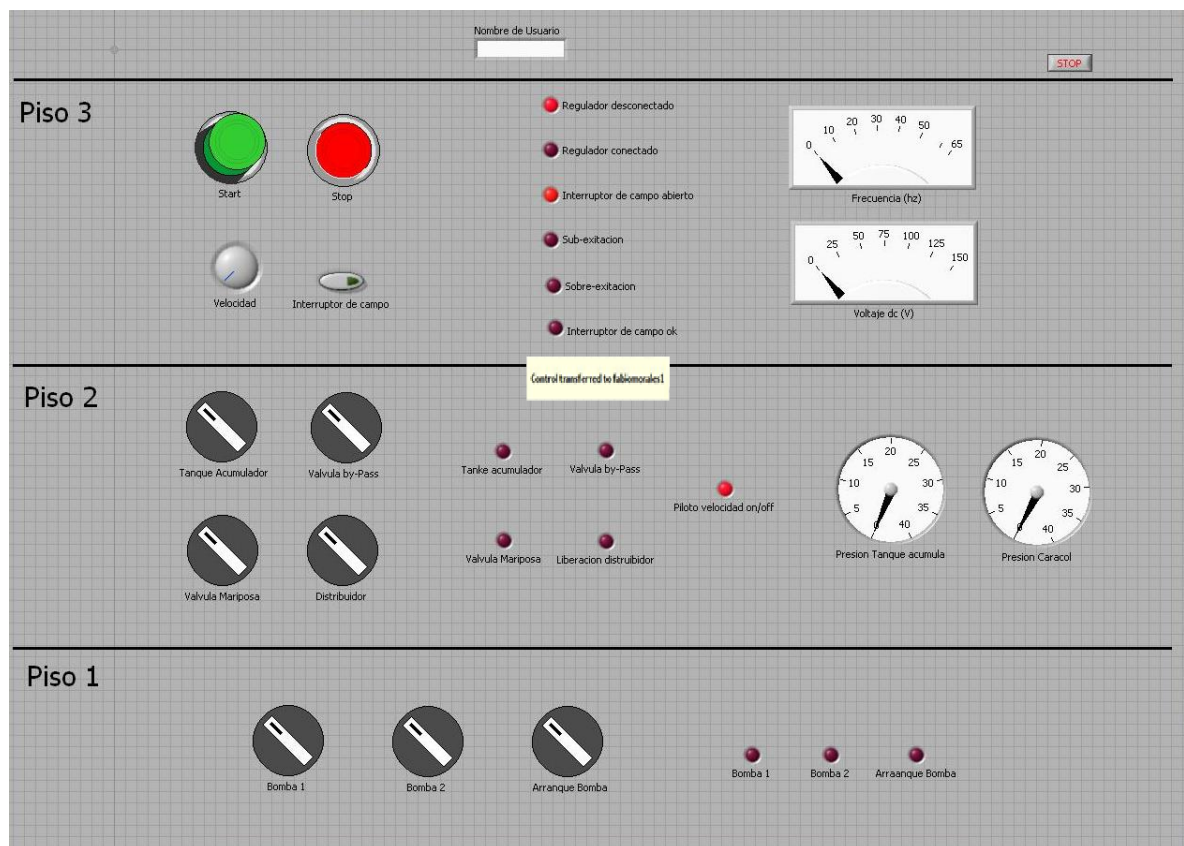


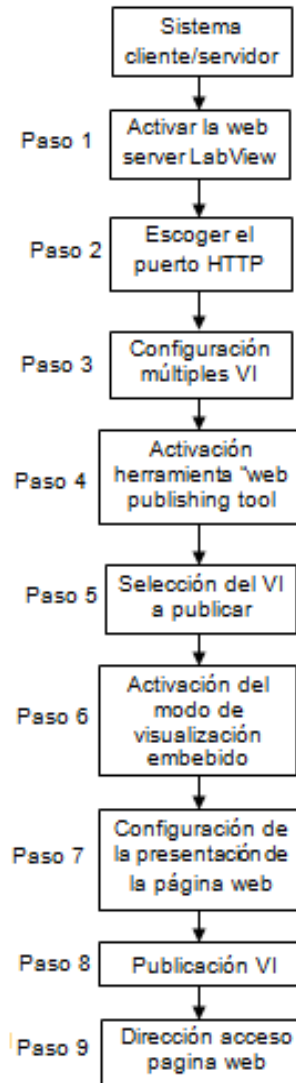
Figura 2-6. Panel frontal en LabView controlado remotamente.

Se ha implementado un sistema cliente-servidor en donde varios clientes tienen la posibilidad de controlar y manipular el panel frontal del sistema de entrenamiento. Varios usuarios pueden controlar a distancia un panel frontal de un VI, al mismo tiempo, sin afectar a los otros usuarios conectados al mismo panel frontal.

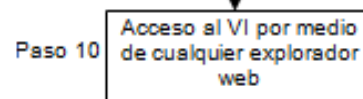
La herramienta que permite la conexión cliente-servidor se le denomina paneles remotos LabVIEW, estos permiten ver y controlar un VI, a través de un navegador Web estándar. Permite crear una página Web en pocos pasos con las funciones integradas de la imagen del panel frontal del VI que se pueden ver a través del navegador Web del cliente. [6]

En el diagrama de la *figura 2-7* se pueden observar los pasos necesarios para la configuración del sistema cliente-servidor. Estos pasos se explicaran a continuación:

ENTRENADOR:



ENTRENADO:



U SUARIOS:

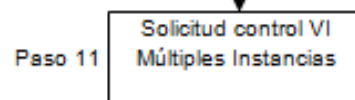


Figura 2-7. Diagrama de flujo configuración cliente/servidor.

Se tomo como base la practica del arranque para explicar los pasos de la configuración del sistema cliente servidor, estos mismos pasos aplican para todas las practicas.

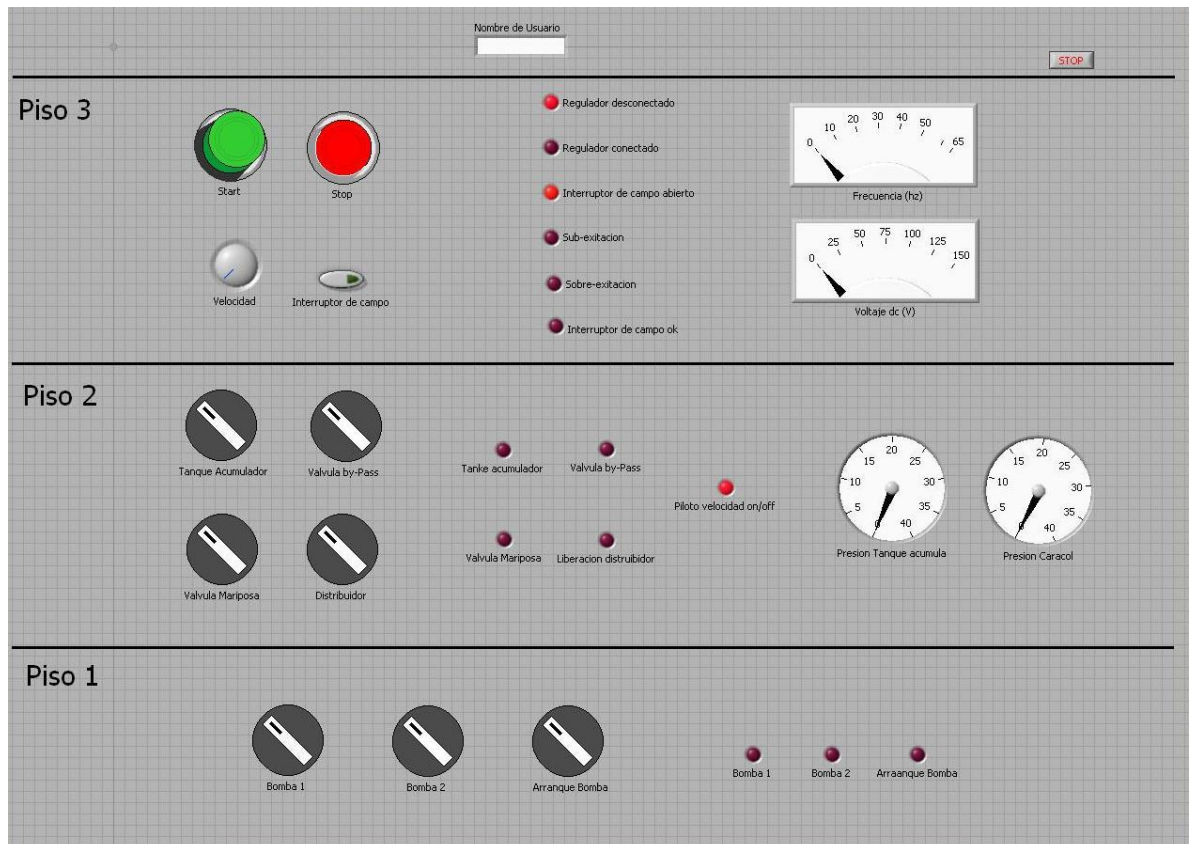


Figura 2-8. Práctica del arranque.

En el computador servidor se publica el VI (Virtual Instrument), en web server del LabVIEW, para poder acceder de forma remota al panel frontal.

Paso 1: activar el servidor web del LabVIEW, para esto es necesario ir a Herramientas>Opciones y seleccionar Web Server: configuration, marcando la casilla para habilitar el web server.

Paso 2: Se escoge un puerto HTTP libre.

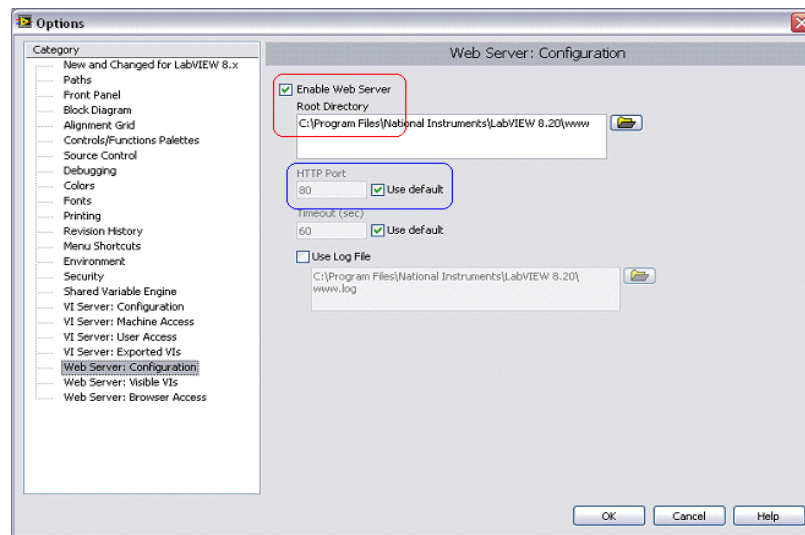


Figura 2-9. Activación del servidor web en LabView.

Paso 3: Habilitado el web server, se procede a la creación de varias instancias del VI; permite que múltiples clientes tengan su propia instancia del panel frontal ejecutándose en paralelo. Para configurar esta característica en el VI, es necesario ir a Archivo>Propiedades VI, a continuación seleccionar la categoría “*ejecución*” de la lista desplegable, marcando la casilla para habilitar el “*Reentrant execution*”. Reingreso a la ejecución, esta es la opción que permite las múltiples instancias, las demás opciones quedan configurados por defecto.

Toda esta configuración se lleva a cabo en el Pc servidor.

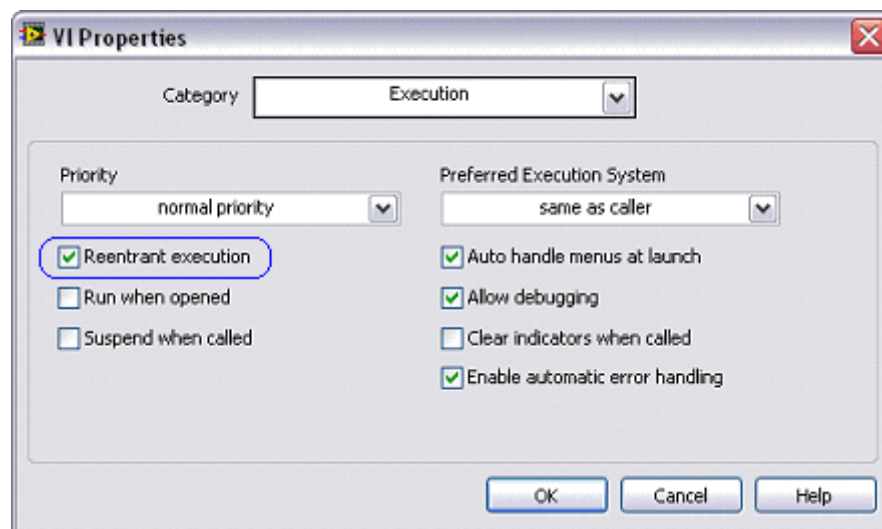


Figura 2-10. Propiedades del VI en LabView.

Paso 4: Se realiza la publicación en la red. Esto se logra a través de Herramientas>Herramienta de publicación en Web.

Paso 5: Se selecciona el VI a publicar.

Paso 6: Se activa el Modo de Visualización Embebido, que permite ver y controlar remotamente el VI.

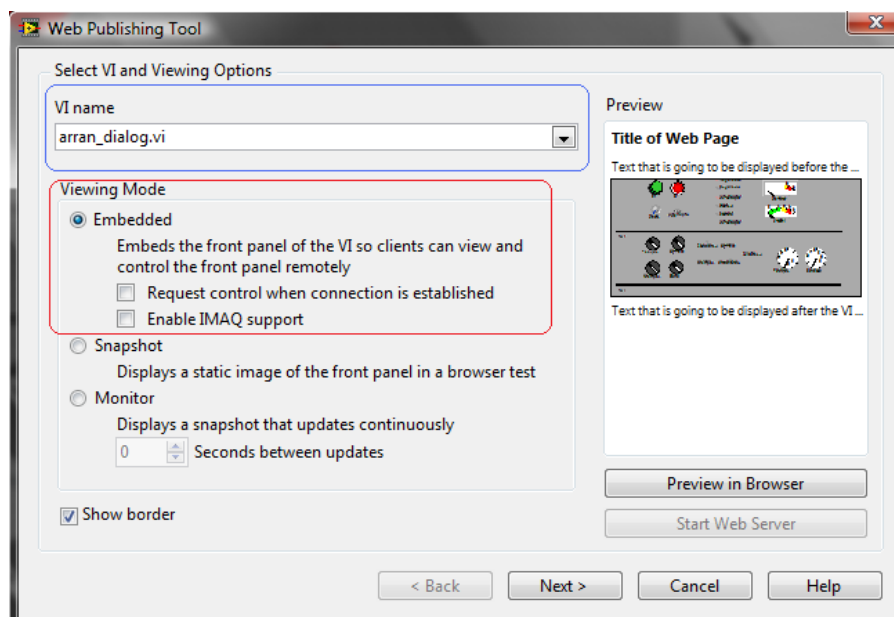


Figura 2-11. Herramienta de publicación Web en LabView.

Paso 7: Se crea el título del documento, encabezado y pie de página en la Web.

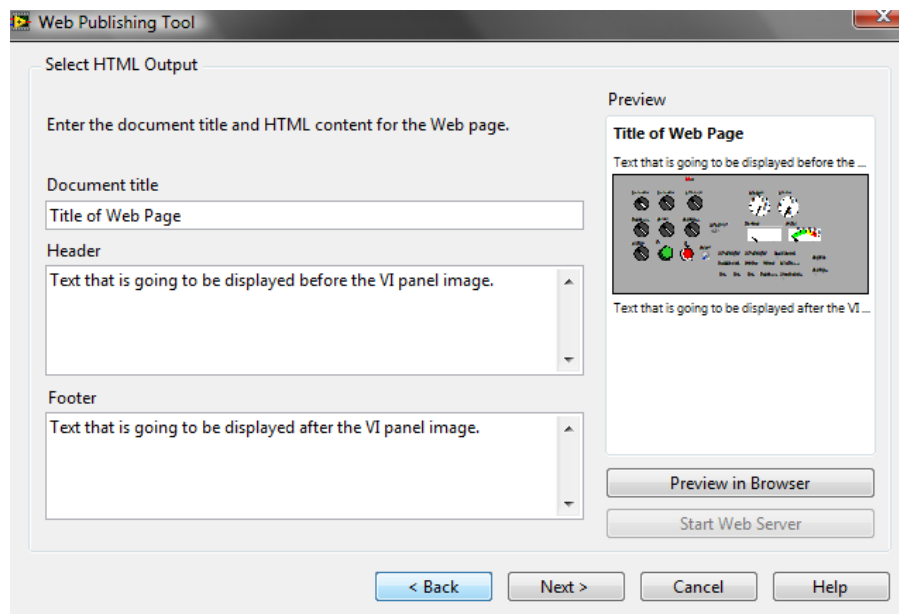


Figura 2-12. Herramienta de publicación Web en LabView.

Paso 8: Se selecciona el directorio de destino donde se realizará la página Web y el nombre de archivo para la página Web.

Paso 9: La herramienta de publicación Web también proporciona la dirección del panel remoto (página Web), que se pueden introducir directamente en la barra de direcciones del navegador. Luego, se oprime el botón Guardar en disco.

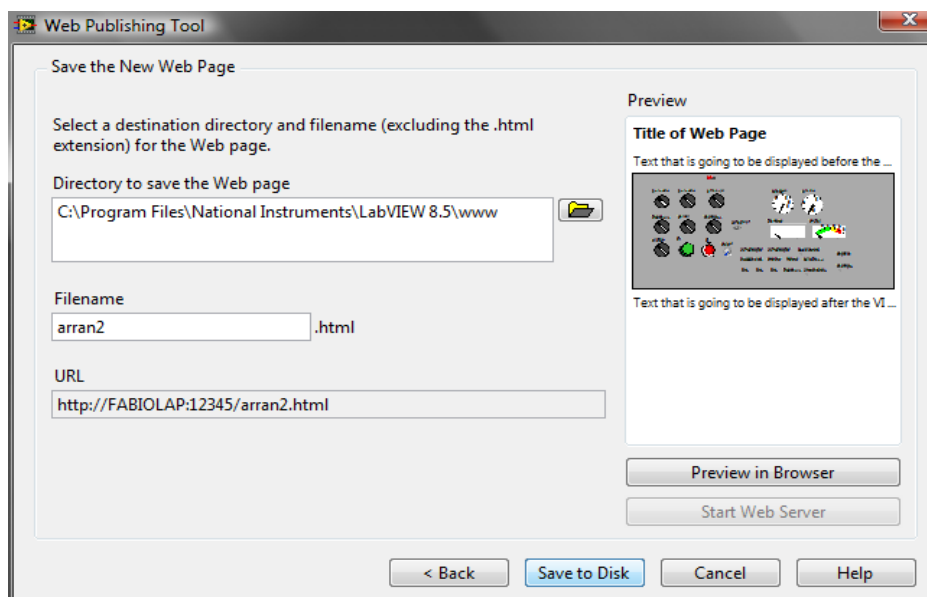


Figura 2-13. Herramienta de publicación Web en LabView.

Para acceder al panel frontal del VI, se abre una ventana de explorador Web y se accede a la URL especificada en la herramienta de publicación Web.

Paso 10: Para obtener el control, se selecciona Solicitud de Control del VI, lo que permite ejecutar el VI, interactuar con los controles, y ver sus datos en los indicadores como si se estuviera ejecutando el VI desde el entorno de desarrollo.

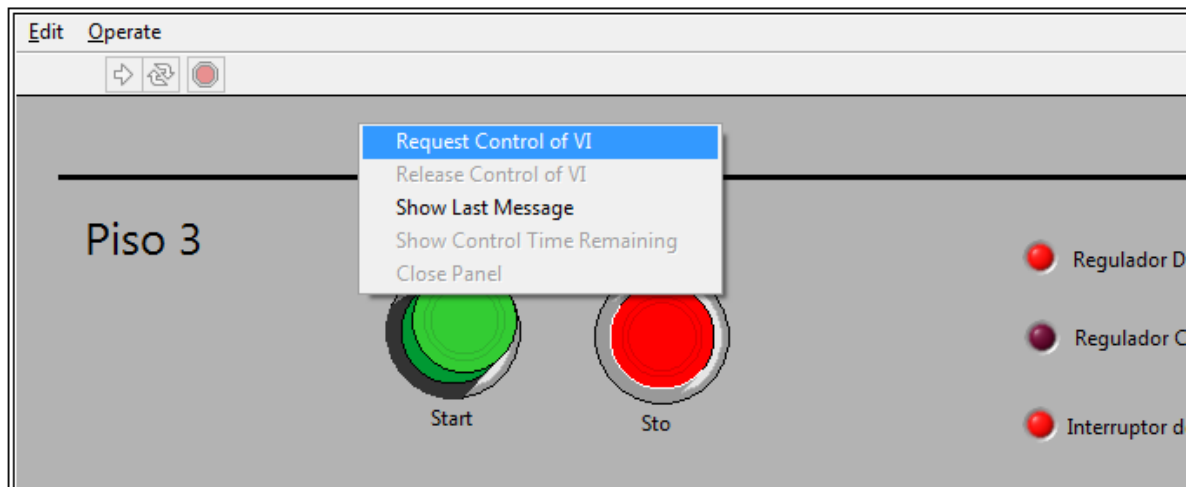


Figura 2-14. Herramienta de publicación Web en LabView.

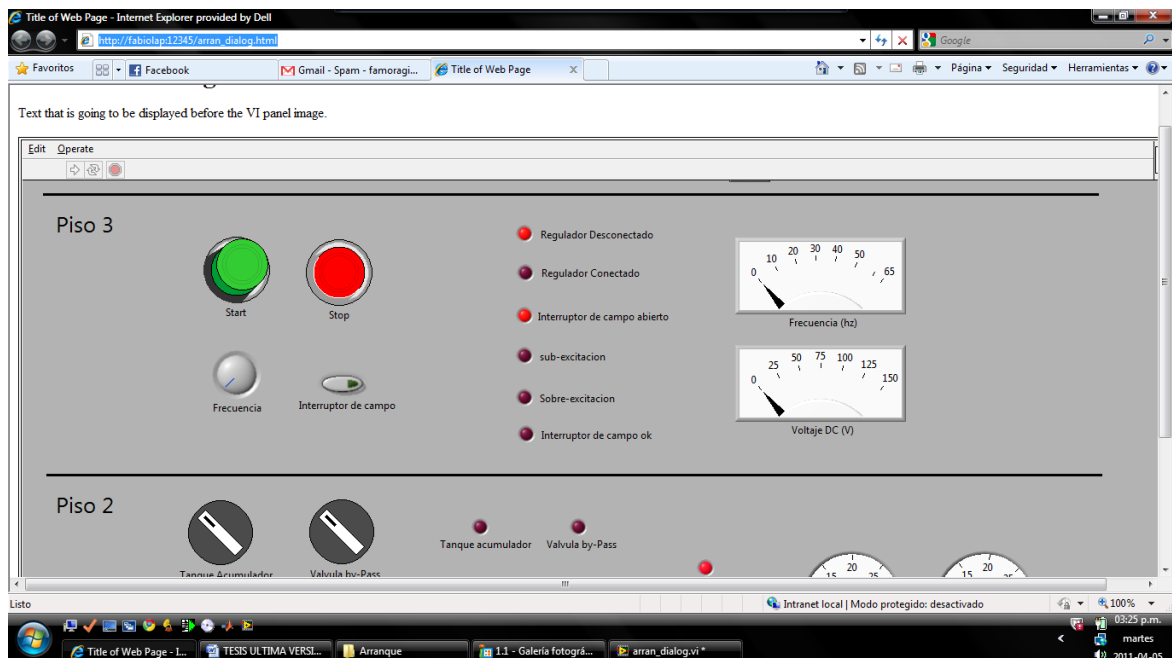


Figura 2-15. Acceso al VI a través del navegador Web.

Un usuario ubicado en una posición diferente, también puede abrir un navegador de Internet y dirigirse a la dirección URL especificada, donde tiene su propia instancia de este VI, y se puede controlar sin ser afectado por cualquier otro usuario conectado a la URL *figura 2-16*, muestra dos instancias del programa que se controlan de forma simultánea a través de dos paneles diferentes.

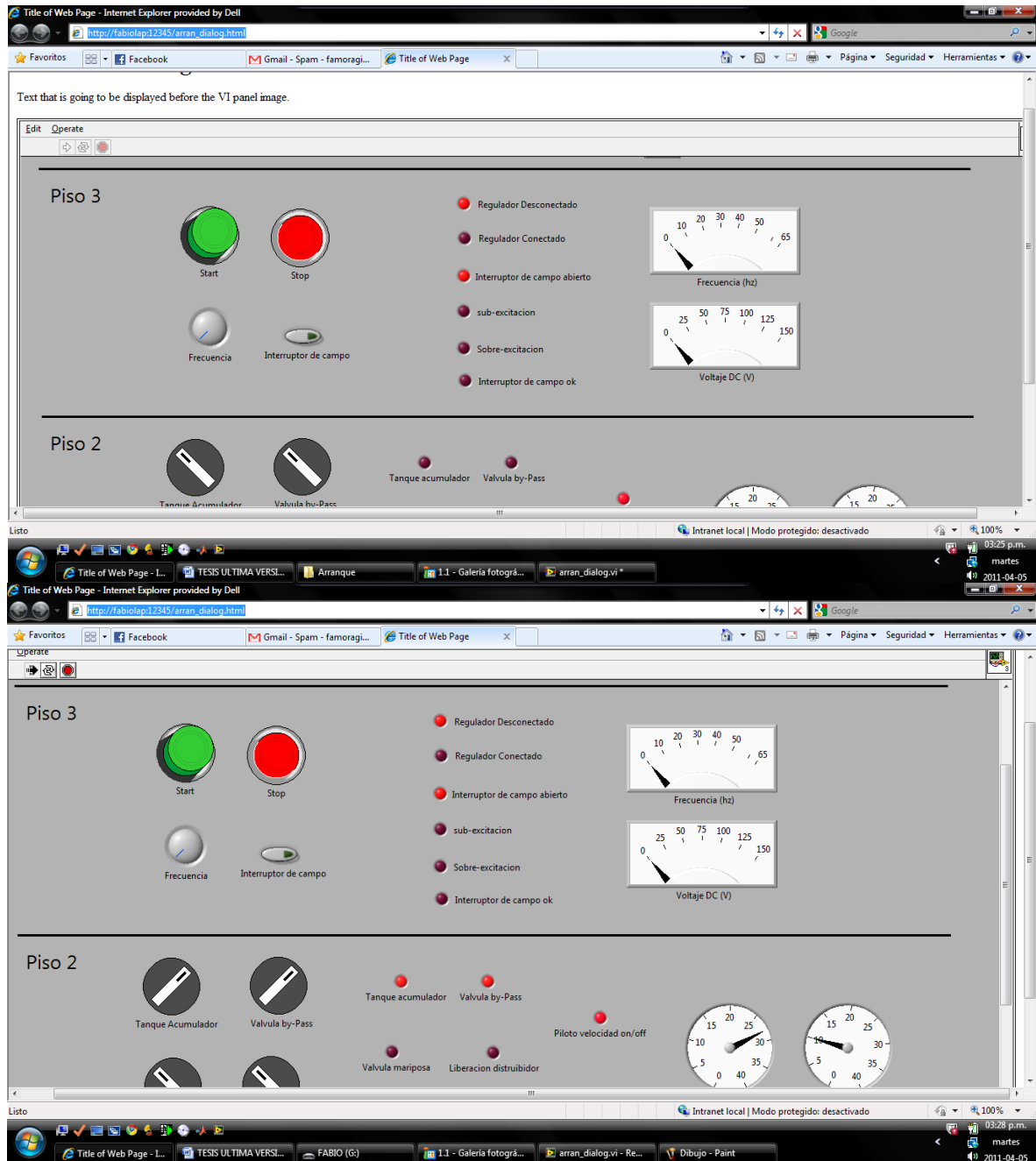


Figura 2-16. Accesos simultáneos e independientes al VI a través del navegador Web.

2.1.6 Observaciones y recomendaciones para el uso del sistema de entrenamiento.

El cliente solo tiene acceso al panel frontal del VI por medio de una página web, el no puede interactuar ni manipular los parámetros de las dinámicas en el entorno de desarrollo.

Para realizar la implementación del modelo cliente/servidor, se debe de tener en cuenta que en el momento de efectuar las prácticas guiadas el número de clientes depende de la velocidad que posee la red y de la capacidad del servidor.

Si la cantidad de clientes aumenta, la velocidad disminuye generando pequeños retardos.

Se presentan pequeños retardos de tiempo al realizar la conexión en red en la práctica de sincronización debido a que las dos dinámicas (Regulador de velocidad y Sistema de excitación) corren en paralelo, lo que causa que la ejecución del programa sea más lento, esto depende de la capacidad de la red y del desempeño del computador servidor.

En la practica donde se realiza la evaluación y el informe, se recomienda efectuarla persona por persona, con el fin de que el entrenador pueda supervisar los avances del entrenado y que el informe generado no tenga ningún problema en el momento de ser guardado en el computador del servidor. Esta circunstancia es debido a que el bloque que genera el informe tiene como orden “crear nuevo y sobre-escribir” y cuando llegan las ordenes de dos informes para ser guardados el bloque genera un error en la escritura lo que genera que los informes no se guarden correctamente.

2.1.7. Informe

Se ha implementado en el sistema de entrenamiento dinámicas enfocadas en la obtención de un informe que permita la evaluación de los operarios al momento de realizar las prácticas.

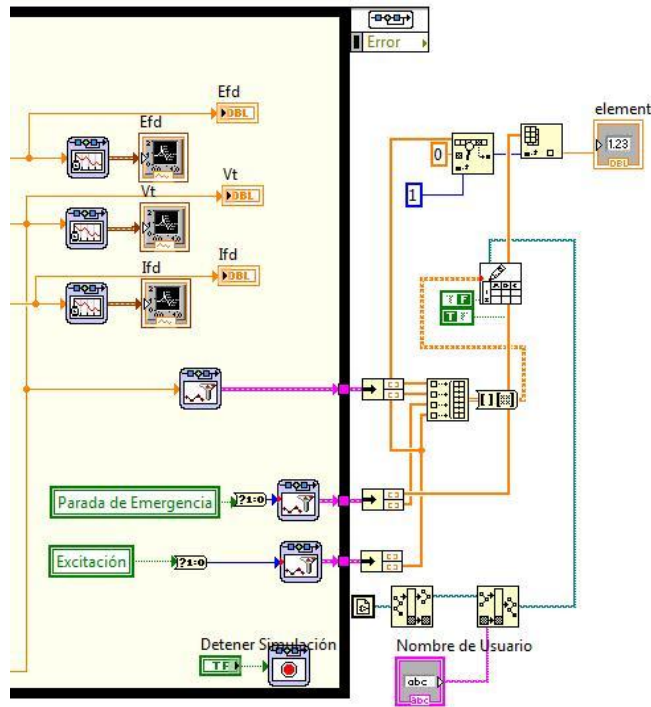


Figura 2-17. Diagrama de bloques informe en LabView.

La configuración del sistema para la realización del informe permite la obtención de los datos tanto de las variables sensadas como de los mandos que controlan las entradas del sistema, los datos son introducidos en tablas y acomodados en arreglos con el fin de obtener diferentes tipos de evaluaciones, como por ejemplo el tiempo de respuesta del operario o la respuesta en los mandos a fallas del sistema.

La evaluación final es realizada por el entrenador con los datos obtenidos en el informe, la información varía dependiendo de la practica. En la práctica del arranque y en la parada la información que recibe el entrenador es la lista con los pasos ordenados secuencialmente y el tiempo en el cual el entrenado realiza cada uno de estos.

Si los pasos de la secuencia incrementan en el orden correcto con el tiempo la prueba se realiza satisfactoriamente, si hubo algún salto de tiempo respecto al orden de los pasos, se cometió un error en la secuencia.

En la sincronización la información es similar, una tabla donde se ve los pasos que se deben seguir para la secuencia de sincronización con los tiempos en que se realiza cada paso, con la diferencia de que si no se cumple uno de los pasos no quedara registrado ningún tiempo en el informe.

Para la prueba de falla la información que es enviada, corresponde al tiempo en segundos de cuanto demora el operario en reaccionar ante una falla.

A parte de la información presentada es posible adicionar otra información dependiendo de las necesidades requeridas por el entrenador.

El informe es guardado con el nombre del usuario que se digita al iniciar la práctica para cada entrenado, el reporte se genera cuando se termina la practica y es enviado para ser guardado en la carpeta donde se encuentra el programa base en el computador del entrenador (Servidor).

3. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO

Para la implementación del sistema se tuvo en cuenta las especificaciones necesarias para la consecución de las pruebas y prácticas programadas descritas en el próximo capítulo. En este capítulo se explica las estructuras, plantillas, modelos que se utilizaron en la realización del sistema.

3.1. IMPLEMENTACION DE LOS MODELOS.

Las dinámicas del sistema de control de excitación y del regulador de velocidad se implementaron en una estructura o plantilla similar al “WHILE” del LabView llamada “*simulation loop*” debido a que permite realizar la simulación en tiempo real de las dinámicas en el dominio “s”; permite la configuración del tiempo de muestreo, en las herramientas de configuración o por un bloque de configuración denominado “wait”  que permite el muestreo en milisegundo de acuerdo a los requerimientos especificados.

En la *figura 3-1* se observan los parámetros de configuración, donde se puede ver el tiempo inicial y el tiempo final, según los requerimientos que se exijan este puede cambiar, para el caso se utiliza como final Inf para que la prueba se realice sin tiempo final.

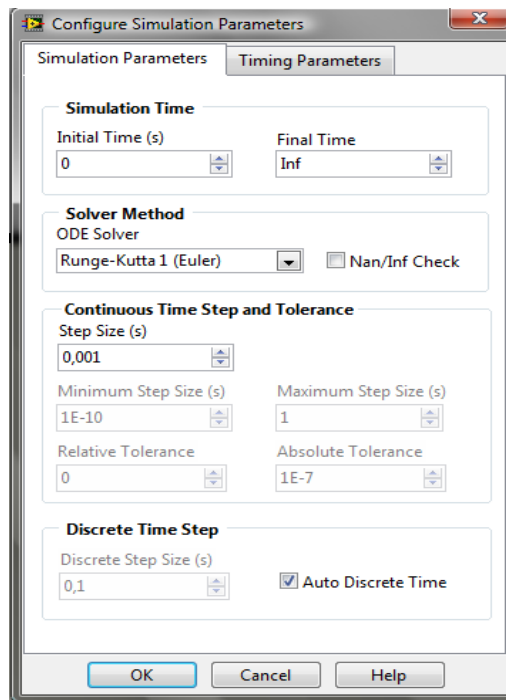


Figura 3-1. Ventana de parámetros de configuración Simulation Loop.

Para la configuración del método de solución del “Simulation loop” se utilizó Runge-kutta 1 que después de realizar múltiples pruebas de los demás métodos era el que tenía una mejor correspondencia con las pruebas del Matlab.

En la *figura 3-2* se ven los parámetros del tiempo de muestreo donde se puede observar que el lazo de sincronización toma el tiempo de la fuente, en este caso 1 kHz lo que implica un muestreo de 1 milisegundo.

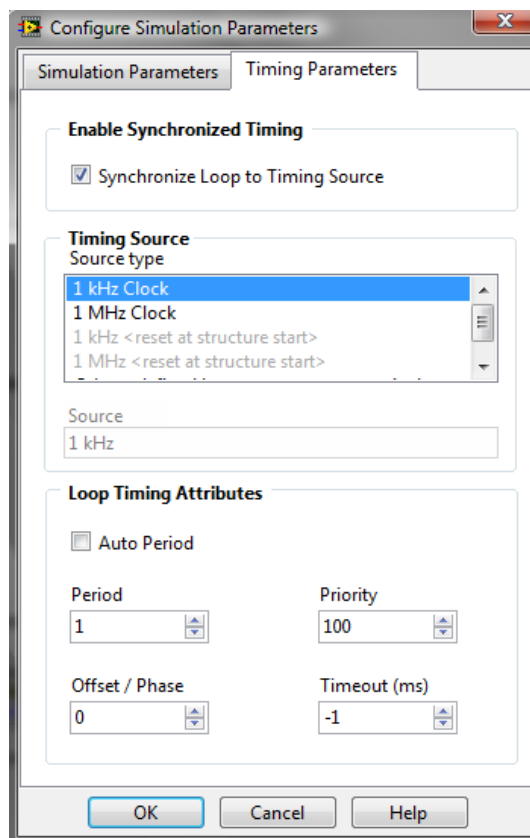


Figura 3-2. Ventana de parámetros de configuración de Simulation Loop.

A diferencia del Matlab el software LabView permite en el “Simulation Loop” implementar las dinámicas en el dominio “s” y hace la simulación en tiempo real y el muestreo de las señales de acuerdo a la configuración que se le desea asignar.

Aunque el alcance del proyecto sólo abarca el regulador de voltaje, se implementaron tanto las dinámicas del regulador de velocidad como las de sistema de control de excitación, esto debido a que la practica de sincronización requiere variables de frecuencia y velocidad necesarias para la consecución de esta maniobra.

3.2. IMPLEMENTACIÓN DEL REGULADOR DE VELOCIDAD.

Para la implementación del sistema de velocidad se tomaron los resultados presentados en el trabajo [1]. Estas dinámicas fueron implementadas en MatLab. Véase la figura 3-3

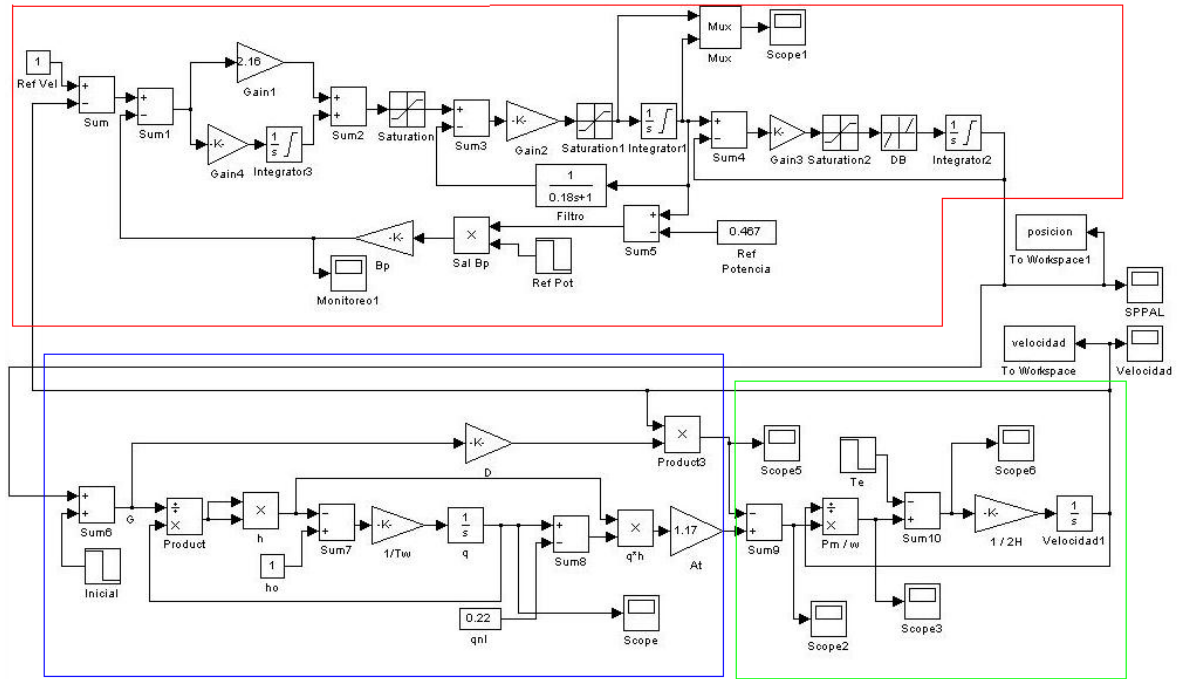


Figura 3-3. Diagrama MatLab.

Se observa en la dinámica del regulador de velocidad en vacío tres módulos principales que la conforman.

El primero es el modelo del regulador de velocidad.

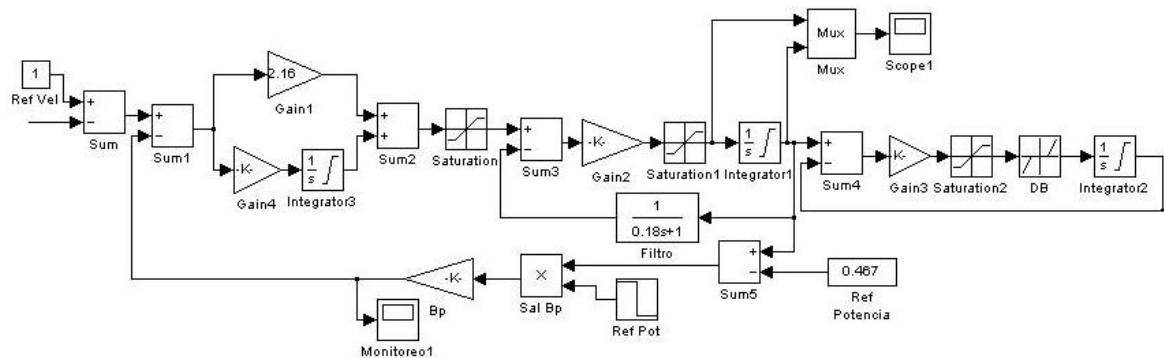


Figura 3-4. Modulo del regulador de velocidad.

El modulo del regulador de velocidad tiene un controlador PI, debido a que el uso de una alta ganancia derivativa hace que el sistema sea oscilante, por lo tanto la acción derivativa se ajusta a cero, la discusión y la obtención de los parámetros, la podemos encontrar en “*Modelado para estudios de estabilidad de los sistemas de control de velocidad y excitación de la central salvajina, Andres Julian Saavedra, 2002*”. [1]

El segundo modulo del sistema, corresponde al de la turbina hidráulica y el “penstock”, el modelo es una estructura no lineal y tiene una representación adecuada de las unidades de la central hidroeléctrica de salvajina.

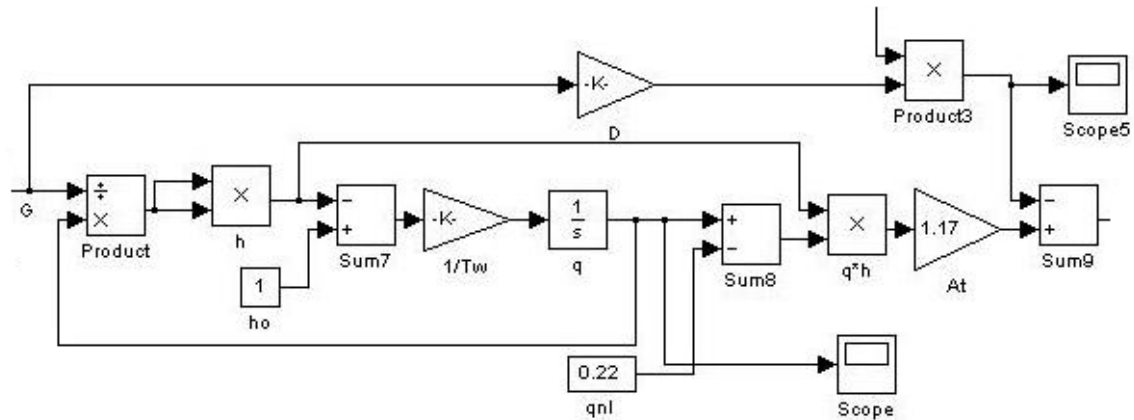


Figura 3-5. Modelo de la turbina y el “Penstock”.

El modulo final corresponde a la rotación mecánica del eje del grupo turbina-generator, es muy necesario porque es donde se realiza el calculo de la variable de velocidad del grupo.

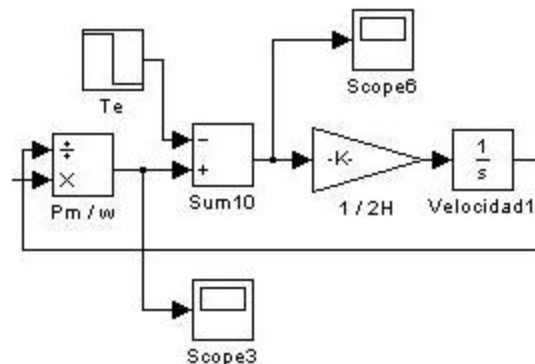


Figura 3-6. Modulo de rotación del eje del grupo turbina generado.

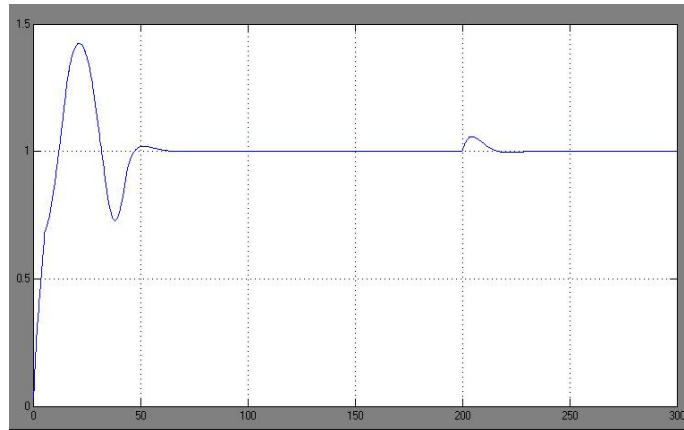


Figura 3-8. Simulación velocidad MatLab.

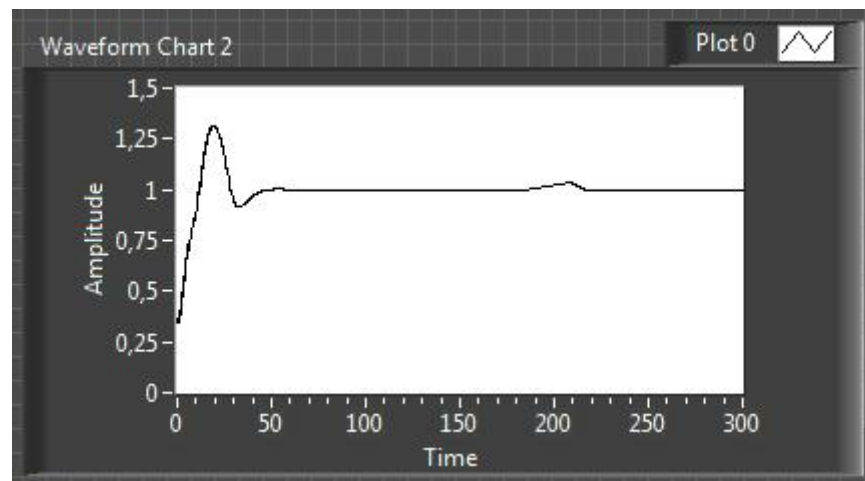


Figura 3-9. Simulación velocidad LabView.

Se observa en las graficas la comparacion entre los dos software, podemos ver que tanto el tiempo de estabilización como el sobrepaso y los transitorios son similares para las dos pruebas, además se puede ver que en el segundo 200, se genera un disturbio para comprobar la similitud y la reacción de las dinámicas en ambos software.

3.3. SISTEMA DE EXCITACIÓN.

EL segundo sistema que se implementó fue el sistema de excitación. Para tal efecto, se da como modelo el esquema mostrado en la Fig. 3-10, realizado en Matlab,[1] y que simula el comportamiento del sistema de excitación ya validado.

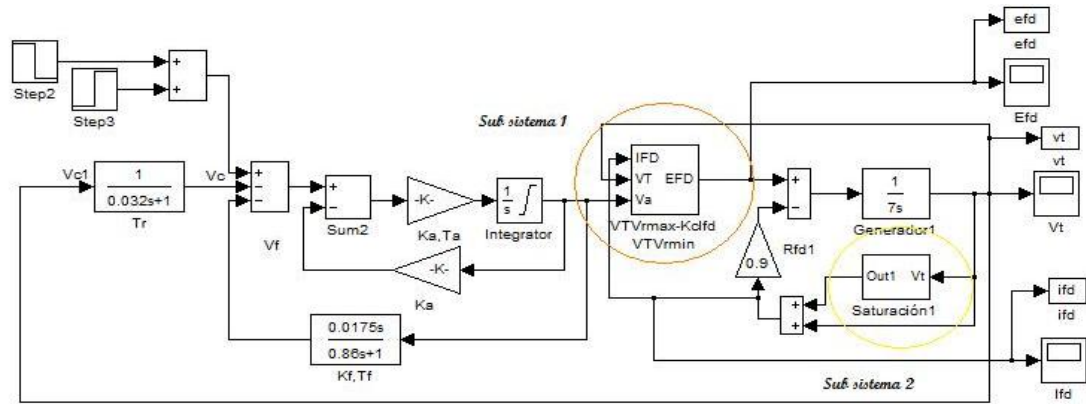


Figura 3-10. Diagrama del sistema de control de excitación en MatLab.

Los subsistemas encerrados en los círculos hacen referencia al puente rectificador (Fig. 3-7) y a la saturación magnética del sistema (Fig. 3-8).

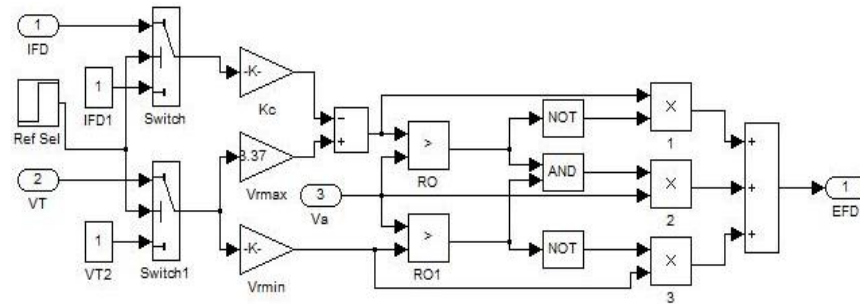


Figura 3-11. Diagrama del puente rectificador en MatLab.

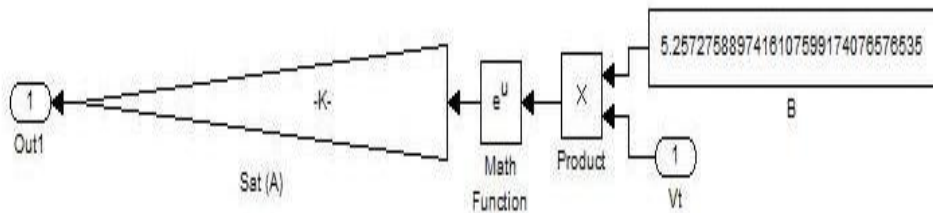
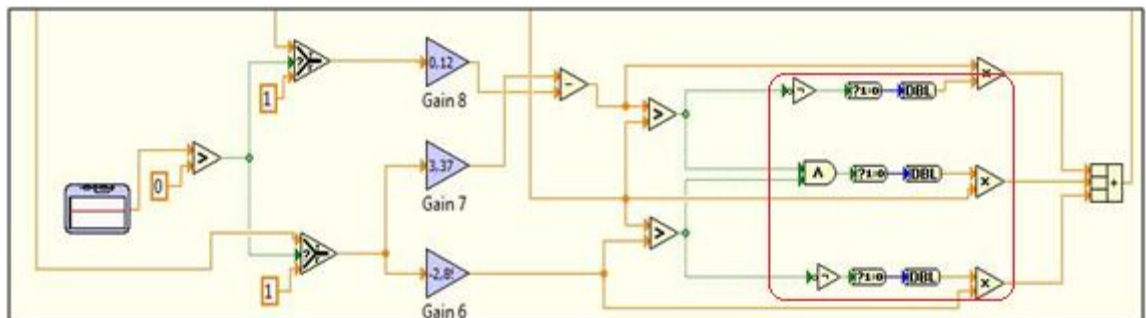


Figura 3-12. Diagrama de la saturación magnética en MatLab.

Para los sub-sistemas se tuvo que realizar un arreglo de variables, debido a que LabView necesita bloques especializados para convertir cada tipo de variable de las entrada y salida, por ejemplo de booleana a enteros y luego a flotante, en comparación con MatLab que pueden ser configura en cada bloque.



44

Para las salidas de los comparadores se debió implementar bloques que convierten señales “Boolean” a “Double Precision Float”, a diferencia de MatLab que permite realizar esa conversión en la configuración de salida de cada bloque, como, por ejemplo, en la salida de los comparadores.

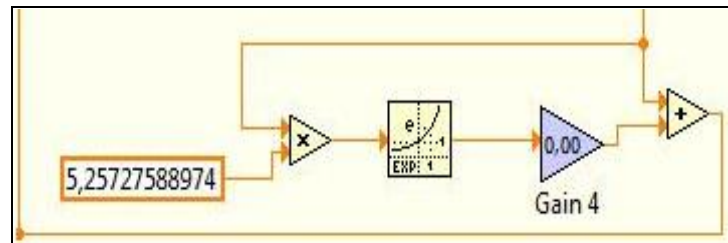


Figura 3-15. Diagrama saturación en LabView.

Para el sistema de saturación se necesitó buscar una expresión donde se pudiera manejar la función matemática exponencial *figura 3-15*.

Para valorar el correcto funcionamiento de la implementación en LabView, se comparan las salidas de cada sistema (LabView vs. MatLab) con el fin de verificar que las respuestas son las mismas.

La prueba que se realizó corresponde a la respuesta del sistema frente a disturbios en gran señal, cabe resaltar que el modelo del sistema de excitación también se encuentra en vacío.

En las *Fig. 3-16 y 3-17*, se puede observar la similitud en el voltaje de campo simulado en LabView con respecto al simulado en MatLab, donde se introducen disturbios en el sistema, se puede observar como los períodos transitorios de los disturbios son similares en ambos software.

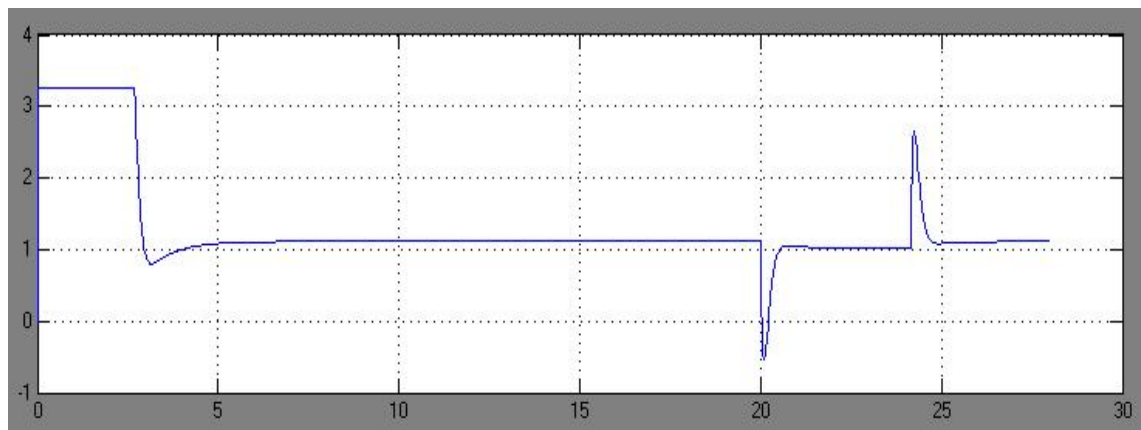


Figura 3-16. Voltaje de campo simulado en MatLab.



Figura 3-17. Voltaje de campo simulado en LabView.

En las Fig. 3-18 y 3-19, se observa la similitud entre las simulaciones de LabView y MatLab para el voltaje en terminales, donde se observa como el tiempo de estabilización es similar en los dos software, así como la respuesta de los transitorios también en el momento de los disturbios.

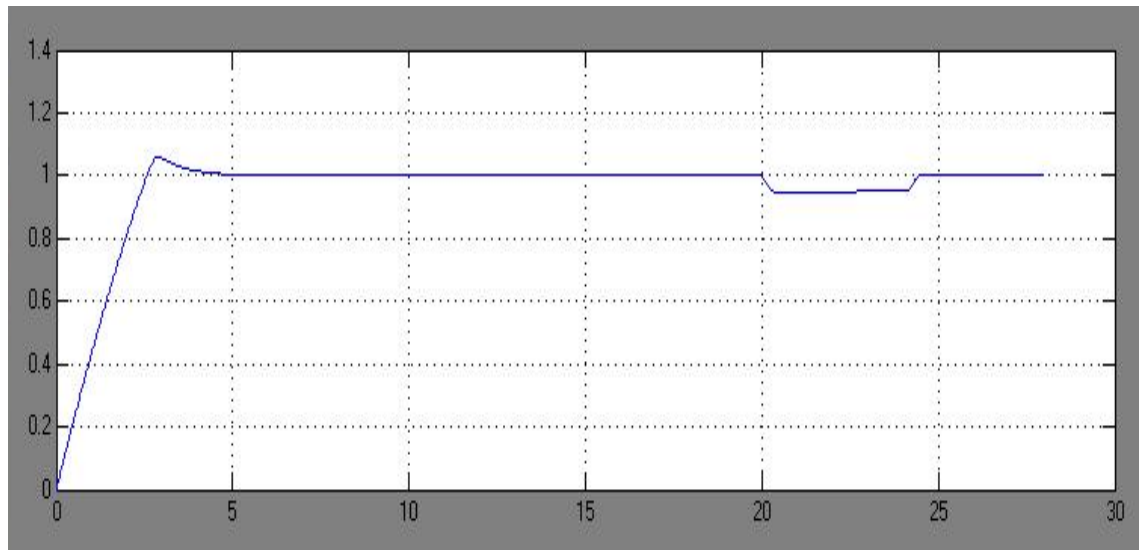


Figura 3-18. Voltaje en terminales simulado en MatLab.

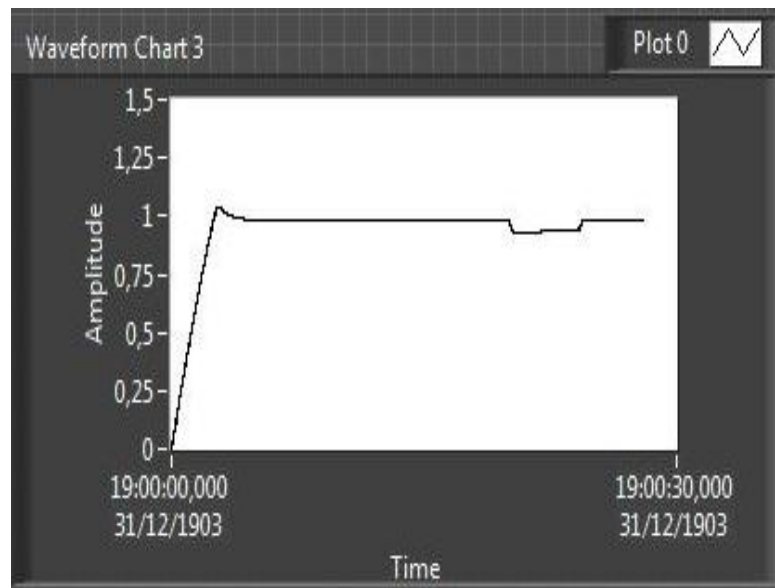


Figura 3-19. Voltaje en terminales simulado en LabView.

En general, se ha logrado que exista una muy buena correspondencia entre los dos software de simulación (LabView y MatLab).

3.4 IMPLEMENTACION DEL SISTEMA PARAMETRIZABLE.

Para la implementación del sistema parametrizable se utilizó una herramienta del LabView llamada "simulation sub-system" que permite la creación de sub-sistemas, esta aplicación genera un bloque o módulo donde los parámetros pueden ser introducidos por medio de terminales o por cuadro de diálogo. En la *figura. 3-20* se observa la implementación del modulo del regulador de velocidad con la entrada de referencia y la salida de velocidad configurada por terminales.

Esta implementación se realizó para el regulador de velocidad debido a su gran cantidad de parámetros y constantes, con la finalidad de facilitar la adecuación y la puesta a punto del sistema.

Para esta implementación lo que primero se realiza es la puesta de todas las constantes y variables del sistema, como si fueran señales de control. *Figura 3-20*



Figura 3-20. Constante como señal de control.

Después de colocar todas las constantes como señales de control *Figura 3-21*, se dispone a emplear la herramienta de LabView llamada “create simulation subsystem” *Figura 3-22*. Esta herramienta solo trabaja para el “simulation loop” esto permite realizar módulos parametrizables para sub-sistemas.

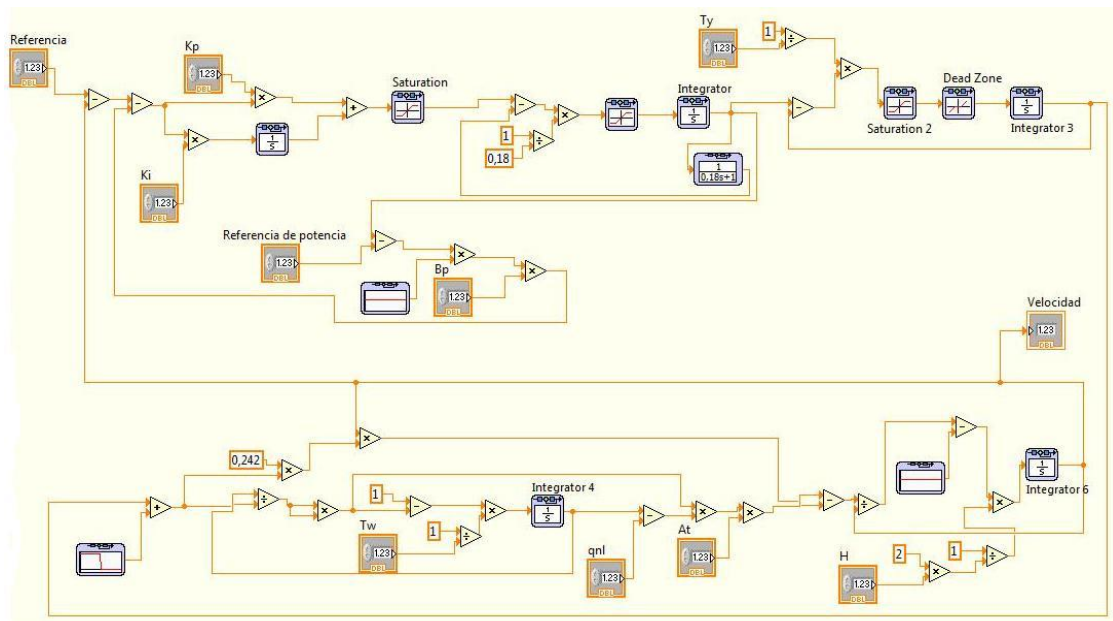


Figura 3-21. Regulador de Velocidad con las constantes como señales de control.

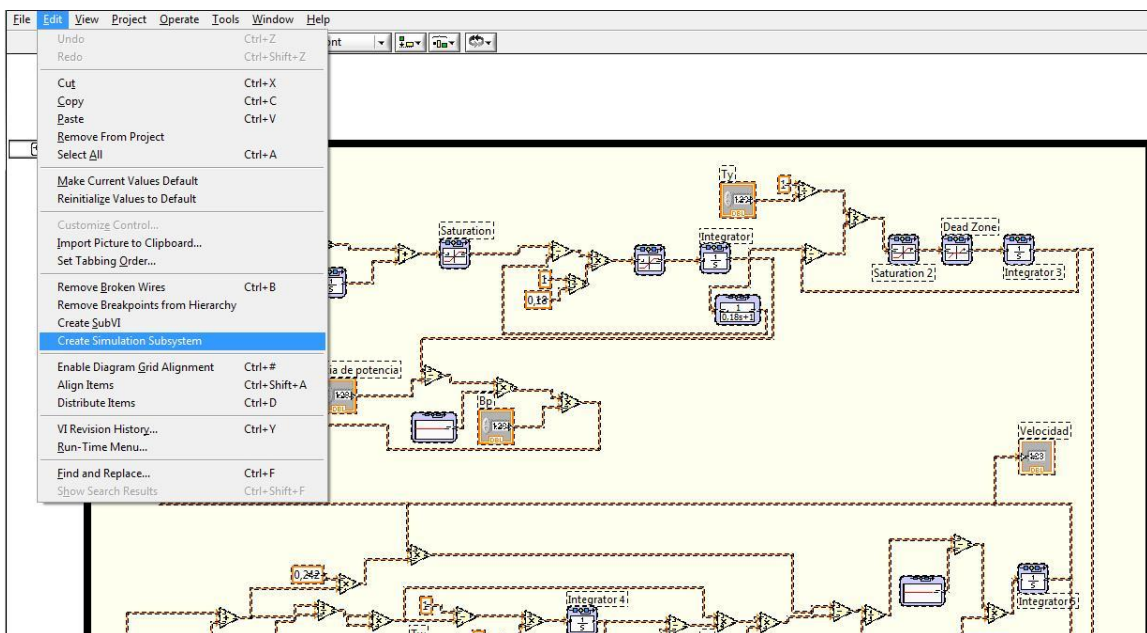


Figura 3-22. Aplicación de la herramienta “Create Simulation Subsystem”.

En la *Figura 3-23* se visualiza el modulo generado del regulador de velocidad después de aplicar la herramienta correspondiente.

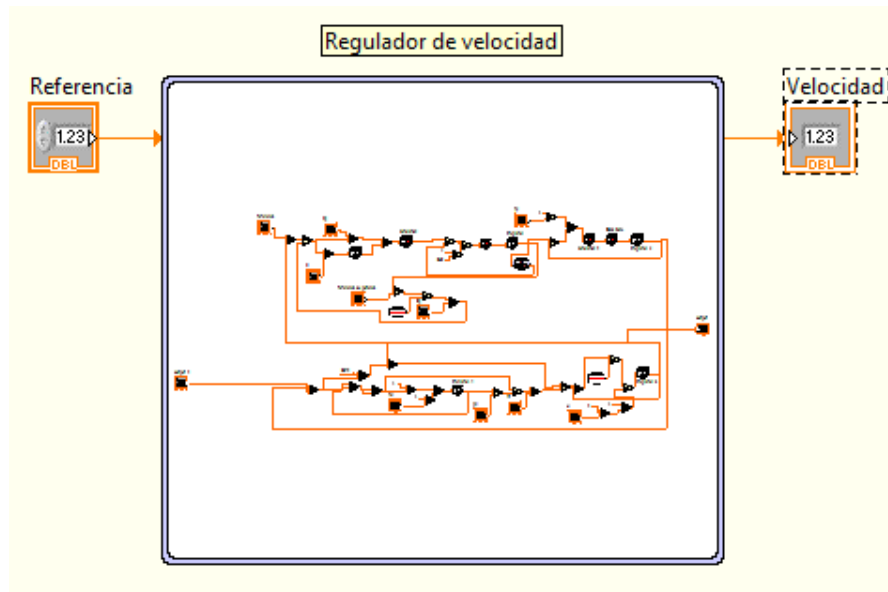


Figura 3-23. Módulo regulador de Velocidad.

En la *Fig. 3-24* se observa el cuadro de dialogo desplegado por el sub-sistema en donde se puede configurar los parámetros de entrada por cuadro de dialogo del regulador de velocidad.

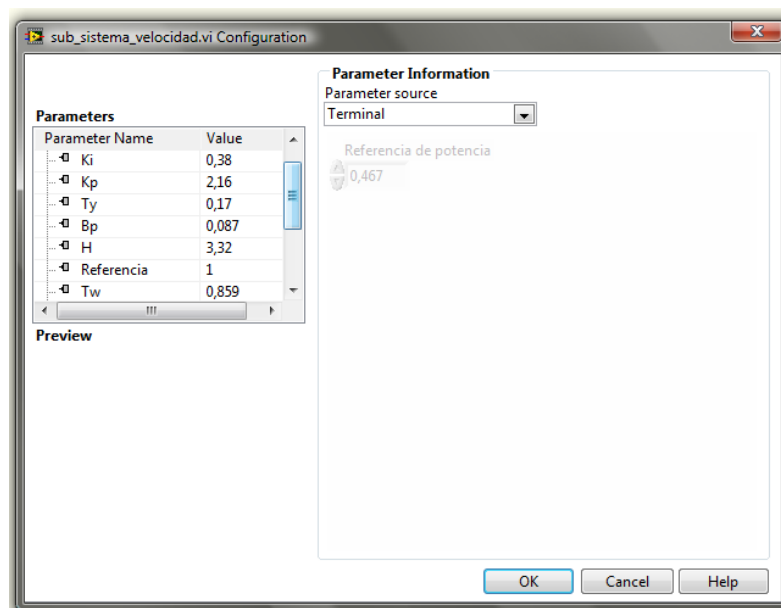


Figura 3-24. Cuadro de dialogo modulo regulador de velocidad.

3.5. IMPLEMENTACION DE BLOQUES DE INFORME.

En la siguiente figura se puede observar la implementación en bloque para la generación del informe.

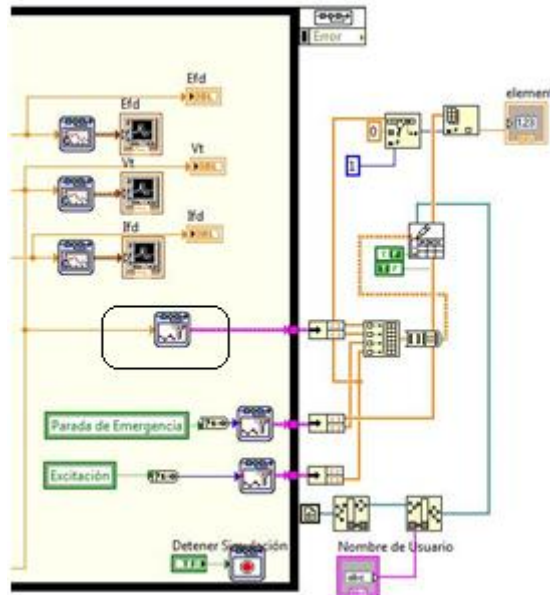


Figura 3-25. Diagrama de bloques informe en LabView.

Bloque para la obtención del nombre con el cual se guardará el informe.

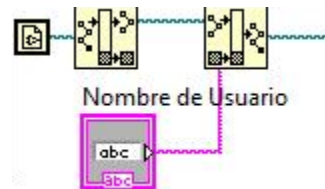


Figura 3-26. Bloque string.

La obtención de la variable sensada, que corresponde al voltaje en terminales del sistema *figura 3-25*, va conectada a un bloque especial de lazo de simulación que registra la señal de entrada comparándola con el tiempo de emulación en paralelo. Los recuadros verdes hacen referencia a los mandos del sistema los cuales están en el mismo bloque para así comparar la acción del operario con el tiempo en el cual se realiza.

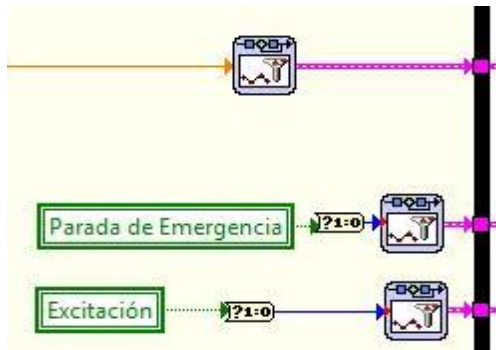


Figura 3-27. Variables que representan los mandos para informe en LabView.

En la *Figura 3-28* se muestra la configuración de bloques que permite la organización de los datos en arreglos y matrices para así obtener las tablas de datos Vs tiempo.

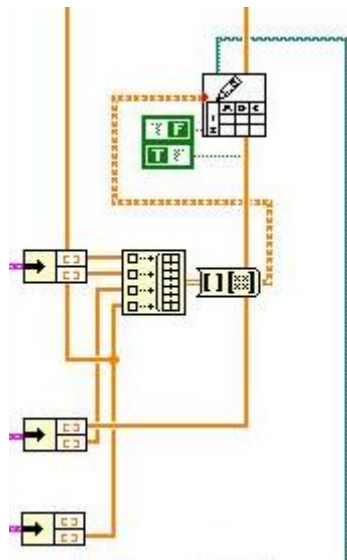


Figura 3-28 Bloques de arreglos.

En la *figura 3-29* se puede observar la configuración de bloques que permite la búsqueda de los datos en las tablas donde son consignadas para la practica de falla debido a que se desea compara los tiempos de la ocurrencia de la falla con el tiempo en el cual el operario tarde en realizar las acciones correctiva.

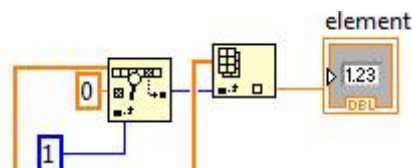


Figura 3-29 Bloques de búsqueda

3.6. MENSAJE AL ENTRENADO.

Se realiza por medio del bloque *"display message to user"* es importante en el desarrollo del sistema, debido a que permite el despliegue de una ventana de dialogo emergente que se activa de acuerdo a los requerimientos que se le especifique. Es muy utilizado para las prácticas guiadas donde al entrenado se le informa de los pasos que debe seguir en la consecución de las maniobras.

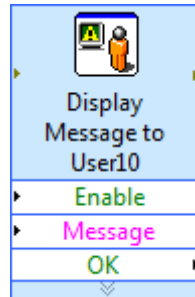


Figura 3-30. Bloque "display message to user".

En la *figura 3-31* se observa la ventana de configuración del bloque, se muestra el campo donde se escribe el mensaje deseado, el texto que aparece en el botón de la ventana emergente, la opción de una segundo botón con su respectivo texto.

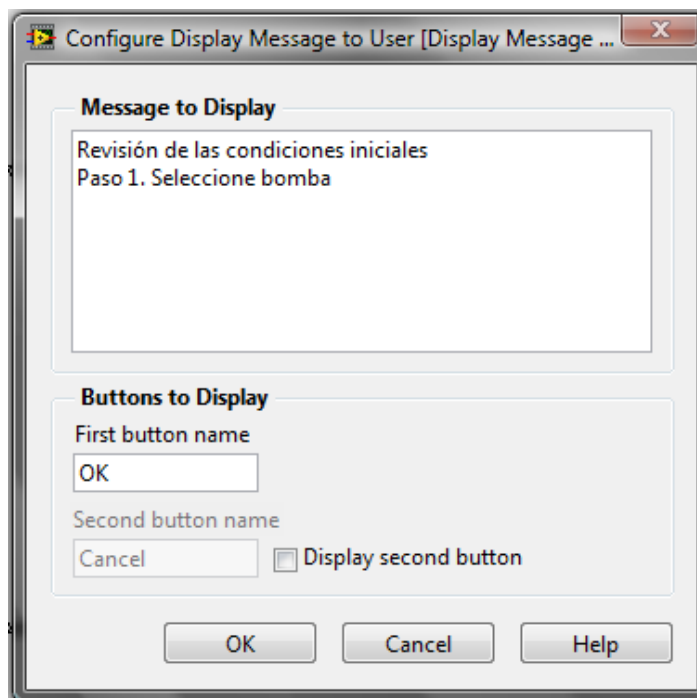


Figura 3-31. Configuración "display message to user".

En la *figura 3-32* se muestra un ejemplo de cómo el bloque se ve representado en la ejecución de un programa, con la ventana emergente se observa el texto introducido y el botón para la continuación del programa.

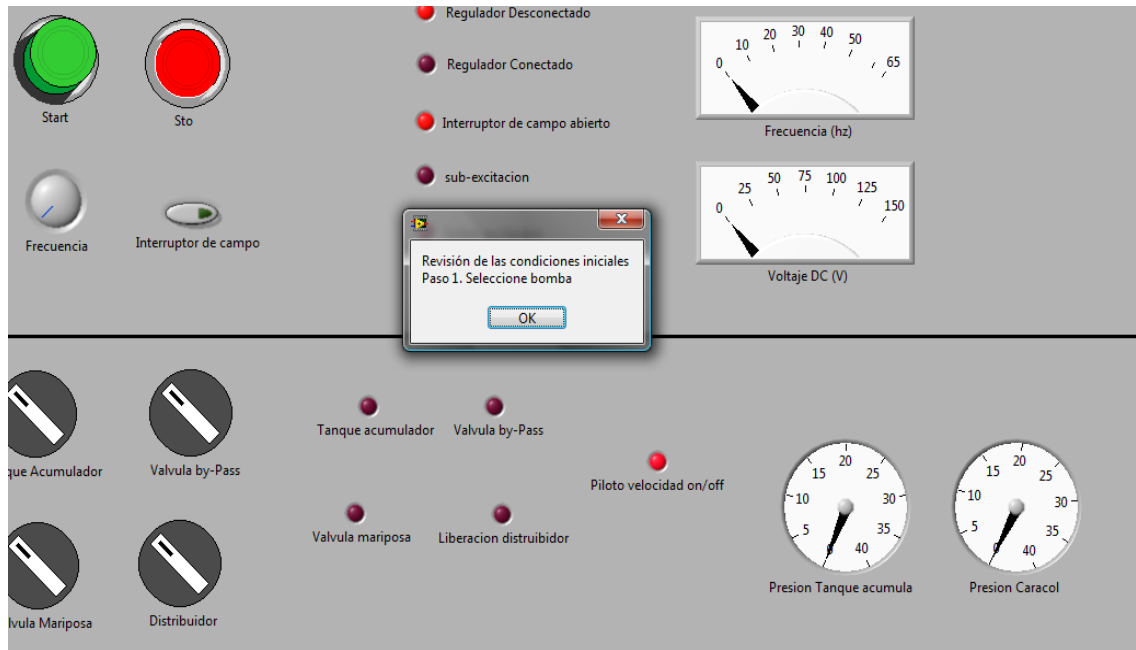


Figura 3-32. Ventana emergente "display message to user".

4. PRACTICAS DEL SISTEMA DE ENTRENAMIENTO

El sistema de entrenamiento, se ha desarrollado en base a prácticas individuales, los cuales permiten a los operarios enfocarse en los puntos donde presentan mayor deficiencia al momento de efectuar las maniobras necesarias para el funcionamiento de una planta generadora.

El sistema de entrenamiento integra el sistema de velocidad y de excitación, contiene los mandos necesarios para las prácticas así como mímicos del proceso.

Se trató de emular con la mayor fidelidad los mandos de los paneles presentados en las plantas para que el cliente los pueda identificar.

En la *figura 4-1* se observa el diagrama donde se muestra las practicas realizadas en el sistema de entrenamiento.

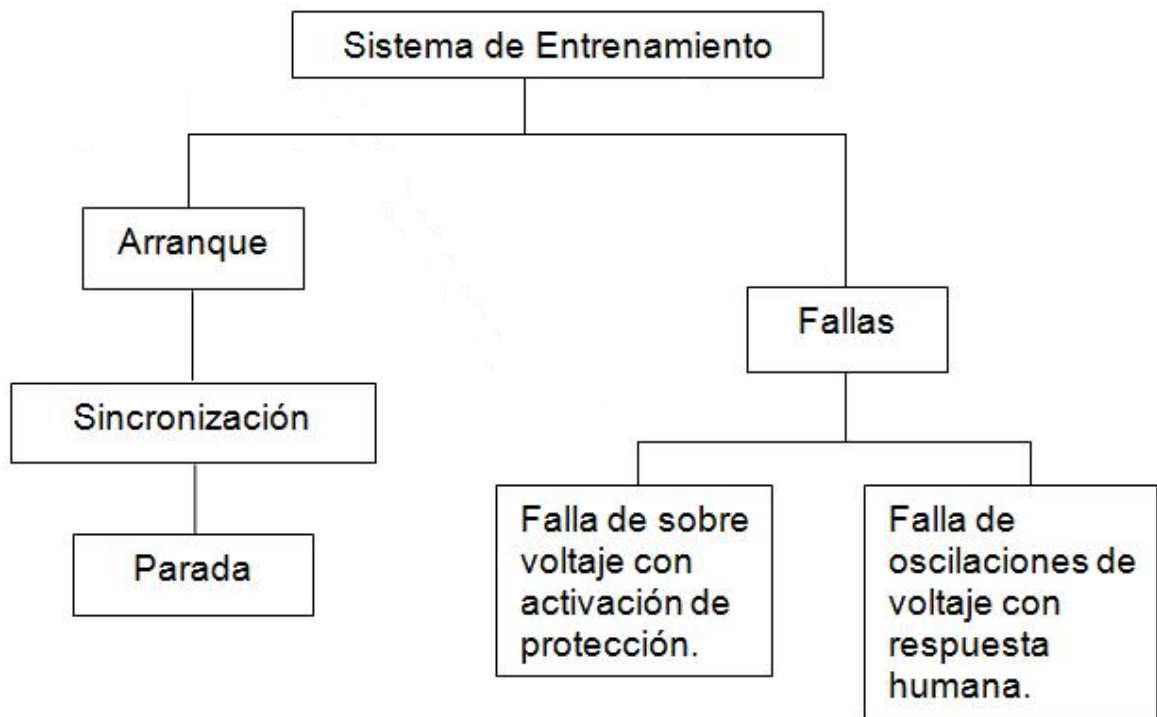


Figura 4-1. Diagrama de bloques prácticas.

Para el arranque, la parada y la sincronización, se realizó dos diferentes tipos de prácticas: guiada y para evaluación, en la practica guiada permite por medio de ventanas emergentes seguir los pasos secuenciales para cada uno de estos procesos. Debido a que es guiada solo se puede manipular un mando a la vez en la secuencia correcta, los demás mandos estarán deshabilitados.

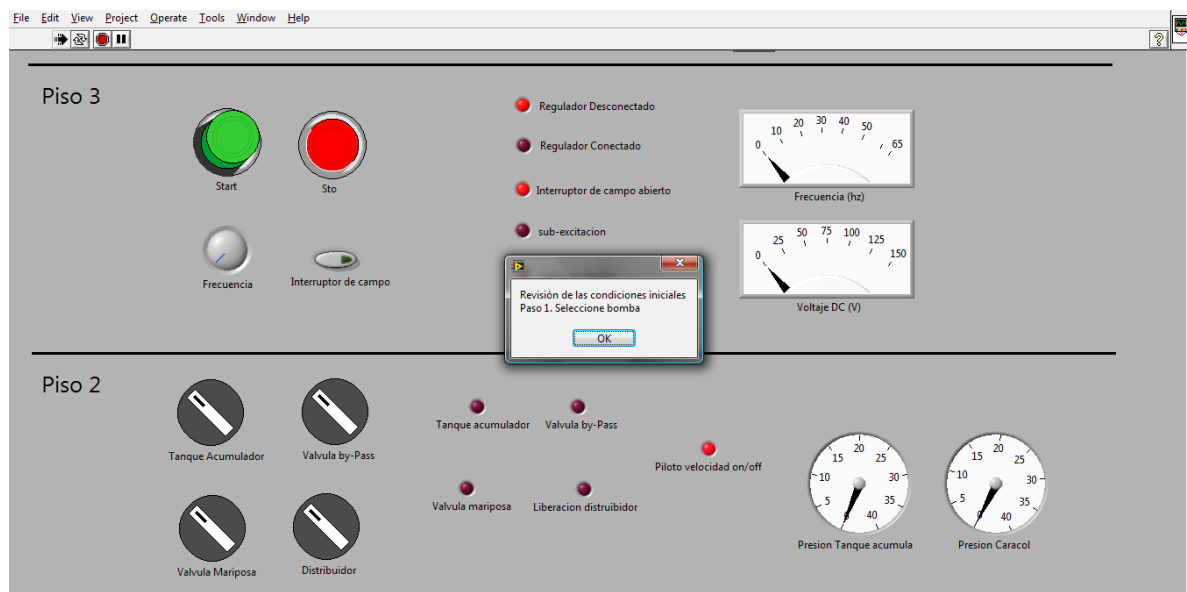


Figura 4-2. Panel frontal con ventanas emergentes.

Para la segunda practica se realizaron sistemas modo evaluación, estos permiten manipular cualquier mando en el momento que se desee, al finalizar la practica generara un archivo o informe con el nombre de usuario que permite evaluar el desempeño de los operarios después de terminada la práctica.

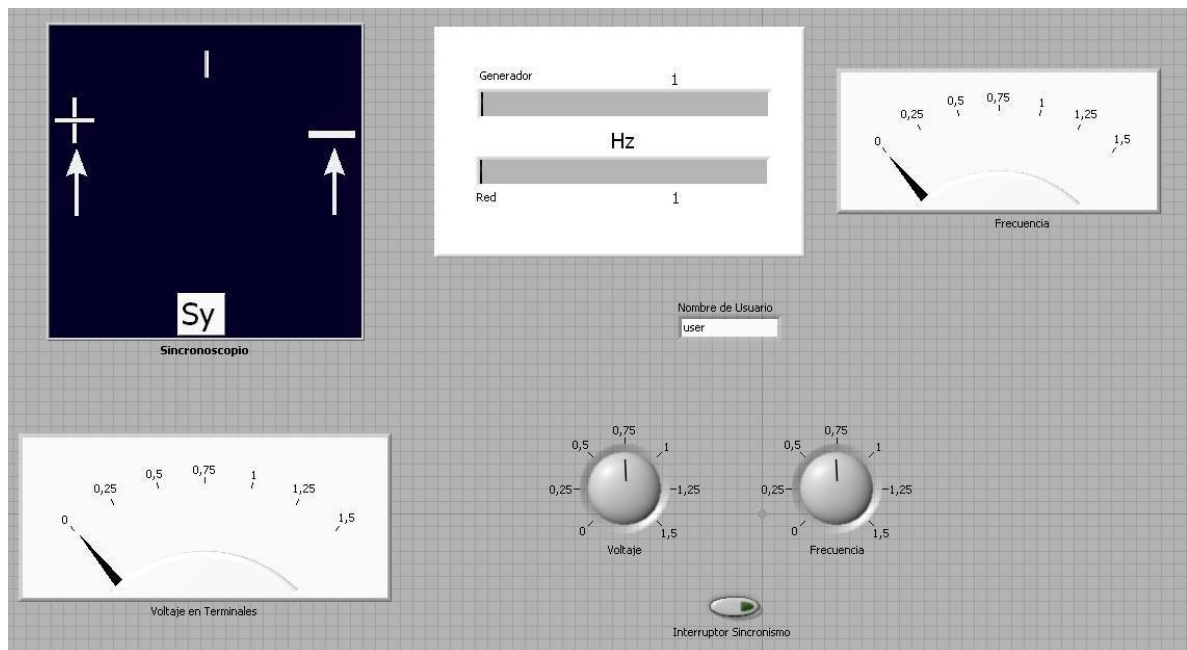


Figura 4-3. Panel frontal con nombre de usuario.

4.1 ARRANQUE

Para el primer laboratorio se tiene como principal objeto las practicas de las maniobras del arranque de una central de generación. Se ha tomado como base las maniobras de la central de Florida II conocidos gracias a la información del personal de la planta.

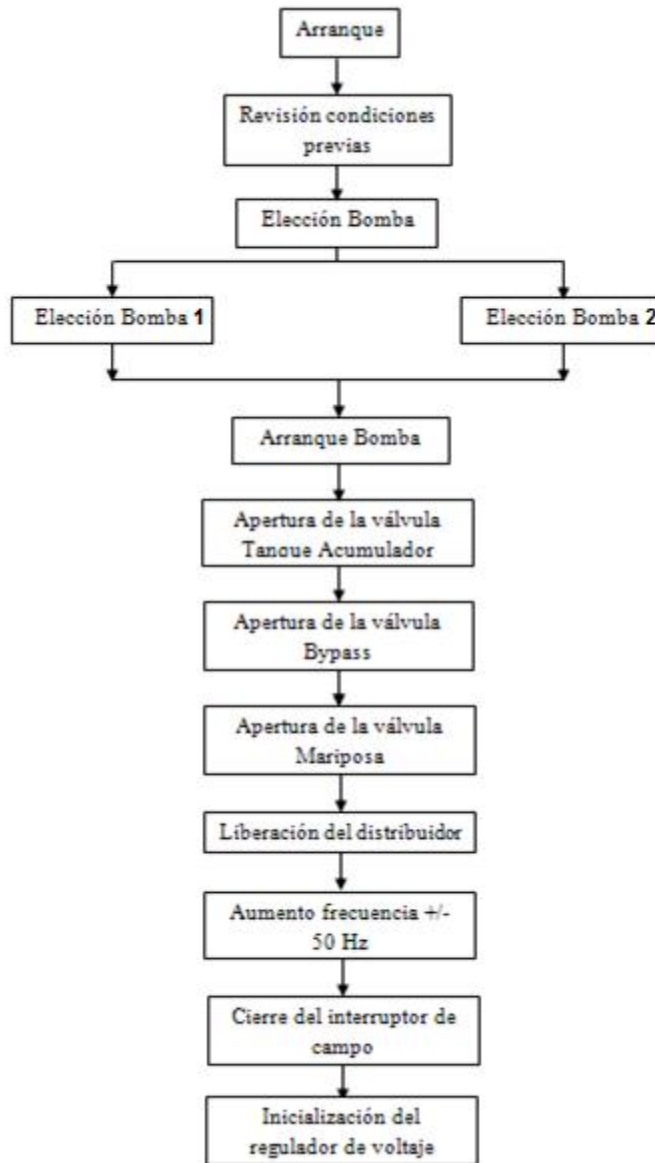


Figura 4-4. Diagrama de flujo práctica Arranque.

Como primera medida se deben verificar las “condiciones previas”, esto es un chequeo de las condiciones iniciales de los sistemas que componen el grupo de generación.

- Se inicia verificando el sistema neumático, lo que significa revisar que el switch de velocidad este en off, debido a que si se encuentra en on se puede embalar la maquina. Además los frenos se deben encontrar habilitados, listos para actuar, lo que significa que se encuentre libre la máquina, en otras palabras que no se encuentre frenada.
- Como siguiente medida se verifica el sistema hidráulico, con la comprobación de que la válvula piloto se encuentre cerrada y sin presión, y que la válvula bypass se encuentre también cerrada, asegurando que la presión en el caracol sea cero.
- El siguiente paso es revisar el sistema de refrigeración de la unidad, con el chequeo del flujo de agua en las chumaceras, tanto en la superior (Alternador), en la inferior (alternador o guía) y en la chumacera de turbina, también se tiene que inspeccionar el flujo de agua que le esta llegando al radiador del generador el cual no debe estar interrumpido.
- Se revisa la parte eléctrica del sistema, el interruptor de campo o excitación que se encuentre abierto, así como el interruptor principal o de sincronismo.
- Además se tiene que revisar que el distribuidor se encuentre cerrado que es el encargado de la apertura de los alabes para la entrada de agua.

Se verifica todo el sistema en general pero estas condiciones son de suma importancia antes de comenzar las maniobras de arranque. Ya comprobado lo anterior se dispone a poner en marcha el arranque.

El arranque de una planta de generación es un sistema secuencial donde se realizan una serie de maniobras en un orden cronológico y respectivo, ésta secuencia es muy similar en casi todas planta, para este caso se tomo como base el arranque de Florida II.

Como primera medida se prepara el sistema neumático, se escoge entre dos bombas presentes, una se utiliza como bomba principal y la segunda como bomba de respaldo.

Cuando se ha escogido la bomba a utilizar se dispone a encenderla, este paso se realiza con un switch de encendido y apagado, la bomba se demora de unos 3 a 4 segundos en estar lista para su uso, esto se puede revisar ya que se enciende un piloto que da la pauta del grupo listo.



Figura 4-5. Panel de mandos frontal.

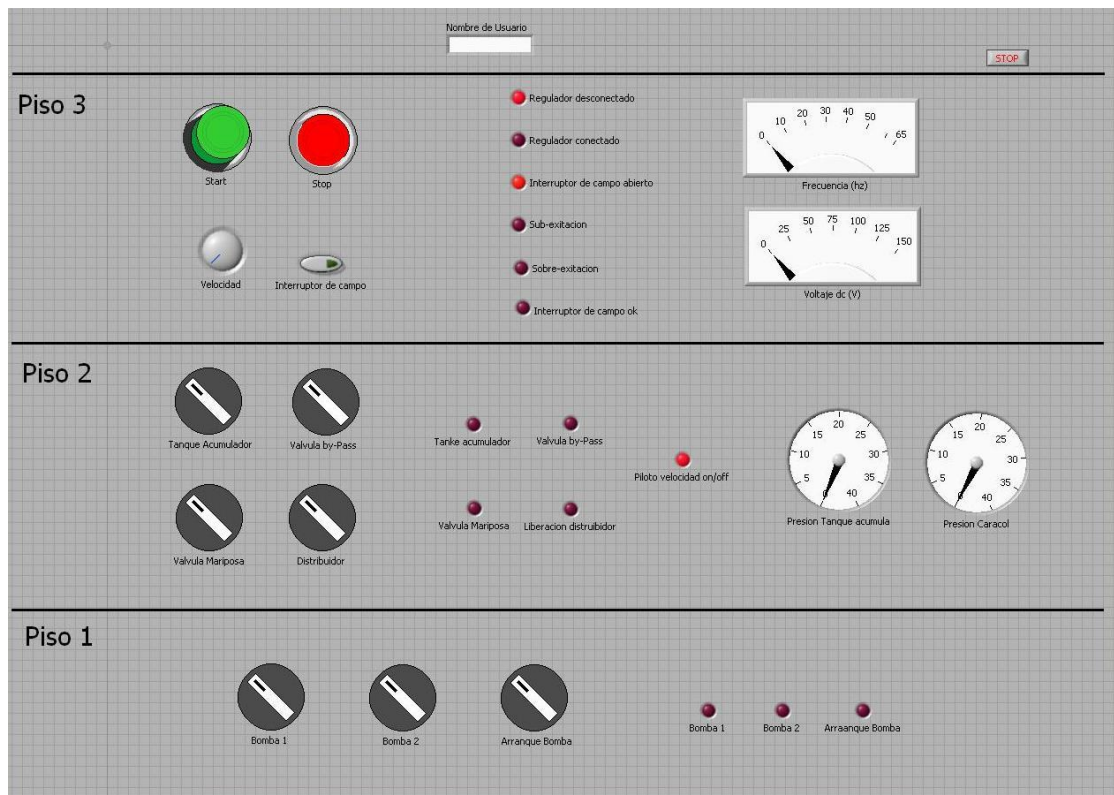


Figura 4-6. Panel de mandos LabVIEW.

Una vez puesto en marcha el sistema neumático, se puede actuar sobre el sistema hidráulico, con la apertura de la válvula piloto del tanque acumulador, después de realizar la apertura se comprueba la presión hidráulica en un barómetro el cual alcanza los 29 Bar casi instantáneamente.

Ahora se lleva a cabo la apertura de válvulas para la conducción de aguas arriba con aguas abajo, el interruptor de la válvula bypass *figura 4-8* es la primera a la cual se le da apertura por lo que la presión del caracol se empieza a incrementar paulatinamente hasta alcanzar los 11 Bar. *Figura 4-7 y 4-9*



Figura 4-7. Barómetros.



Figura 4-8. Interruptor de la válvula bypass.

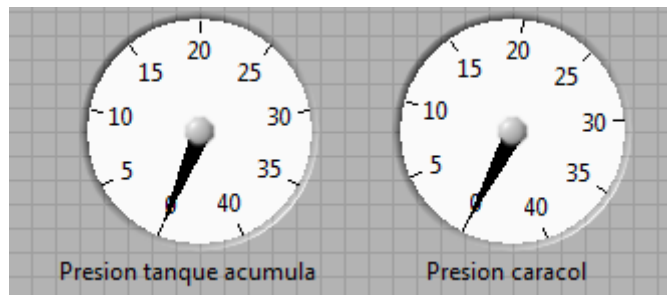


Figura 4-9. Barómetros LabVIEW.

El siguiente paso es la apertura de la válvula principal o válvula mariposa, la indicación de que la válvula se encuentra abierta es un piloto que se enciende instantáneamente cuando el interruptor es activado.

Nota. Cuando la válvula mariposa realiza la acción de apertura por control eléctrico se ejecuta el cierre de la válvula bypass.

Se dispone ahora a pasar al sistema del generador y la turbina, como primera medida se dispone a la liberación del distribuidor en donde un piloto señala si se ha efectuado esta acción.

Como siguiente medida se dispone aumentar la velocidad del rotor hasta llegar a un aumento de más o menos 50 hz, este aumento se ve reflejado en un frecuencímetro y debido a este cambio en la velocidad el voltaje de DC aumenta 125 a 130 volts.

Cuando se alcanza esta velocidad y este voltaje se dispone a realizarse el cierre del interruptor de campo o excitación de la unidad.

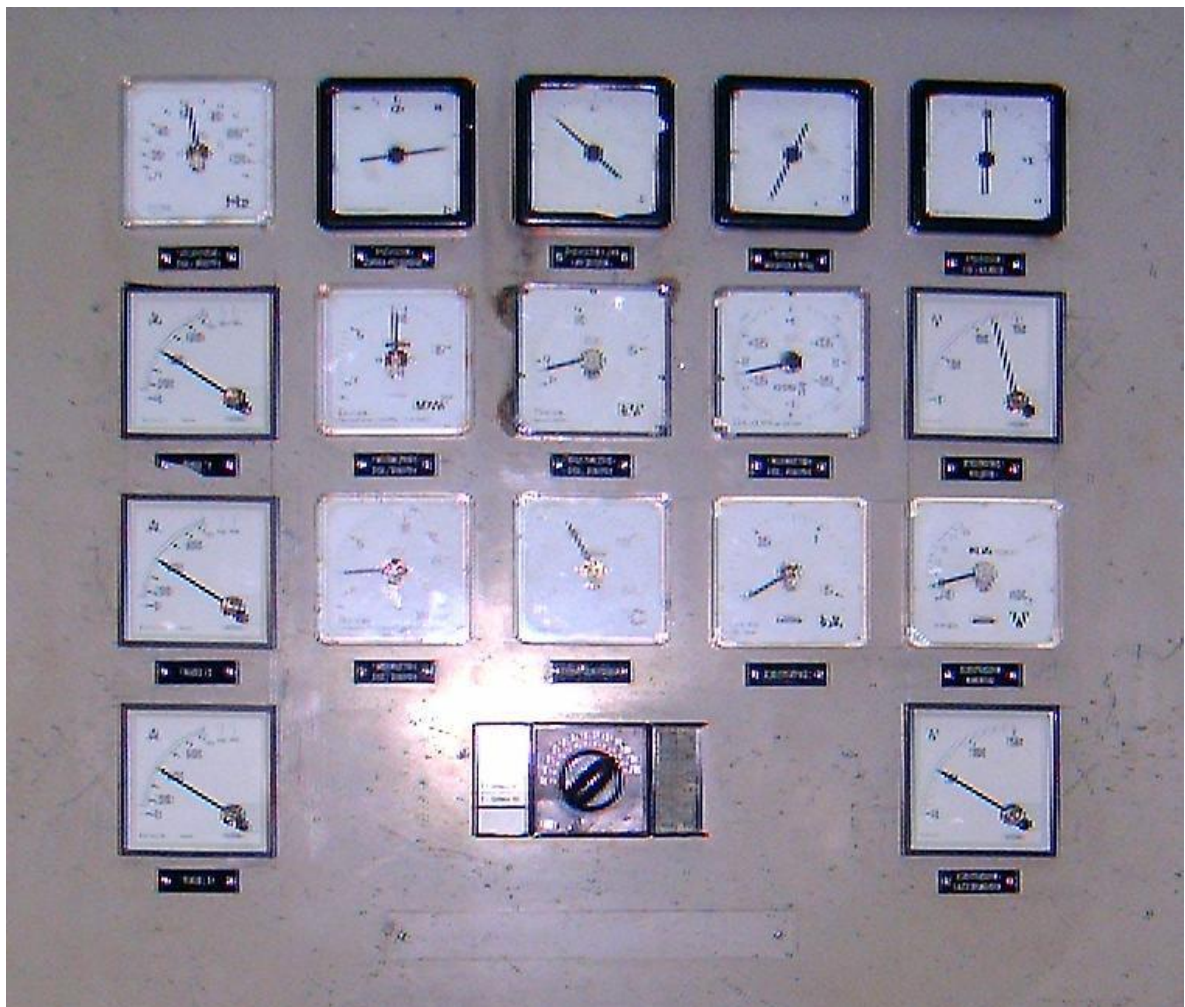


Figura 4-10. Panel indicadores análogos.

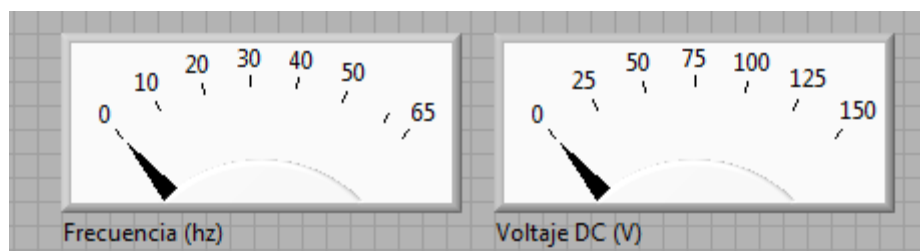


Figura 4-11. Indicadores análogos.

Para el arranque del regulador de tensión se oprime un botón de Star/Stop, se tiene un panel de control con cinco indicadores de estados, los que se encuentran son: Regulador desconectado, regulador conectado, interruptor abierto, Sub excitación y sobre excitación.



Figura 4-12. Arranque del regulador de tensión.

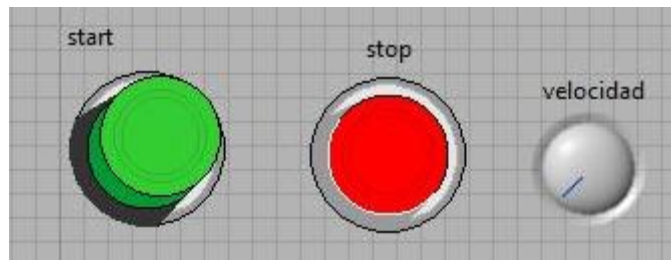


Figura 4-13. Arranque del regulador de tensión LabVIEW.

En el momento de poner en marcha el regulador de tensión este aumenta paulatinamente a 13 KV, por lo cual se produce el aumento de tensión a 13.8 KV para así igualar la tensión de línea y llevar el sistema a punto de sincronismo. Ver *anexo A,B*, donde se presenta el esquema y el montaje físico del sistema de excitación Panta Florida II.



Figura 4-14. Ajuste de tensión manual.

Protecciones del arranque:

Se encuentran presentes protecciones para las maniobras del arranque las cuales impiden que se presenten malas operaciones en el momento de la secuencia de inicio de las unidades.

- El tanque acumulador realiza la acción de apertura, si la bomba no esta encendida.
- La válvula del bypass no realiza la apertura si la válvula piloto no se encuentra abierta (tanque), y la válvula principal no está cerrada.
- La válvula mariposa no genera apertura sino esta la válvula bypass abierta y si no hay presión en el caracol.
- El distribuidor no libera si no está abierta la válvula principal. Hay presión en el caracol y el bypass cerrado.

Para el arranque y la parada se implementó un sistema secuencial en LabVIEW, donde se realiza paso a paso la inicialización de los diferentes sistemas que ponen en marcha una unidad. No se utilizaron los modelos debido a que en esta maniobra solo se muestra la forma en que se inicializa cada sistema.

4.2. SINCRONIZACIÓN

Para la sincronización se utilizaron los modelos, tanto el de excitación como el de velocidad, esto debido a que es necesario coordinar el voltaje, secuencia de fase y frecuencia de la máquina con la red eléctrica.

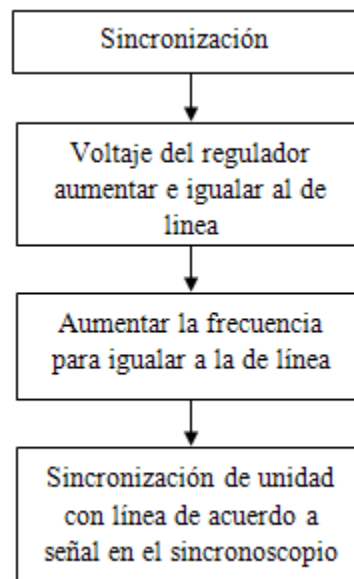


Figura 4-15. Diagrama de flujo practica sincronización.

Para este laboratorio se debe esperar para que los sistemas (excitación y regulador de velocidad) se estabilicen, se debe verificar la secuencia de fase, pero para el caso de la practica esta verificación se realiza internamente por lo cual no se tomo como objeto de evaluación, a continuación se tienen los indicadores de tensión tanto del generador como el de línea, lo que se debe realizar es la igualación de tensiones, este valor corresponde a 13.800 V. Pero para este caso los modelos están en unidades de PU; por lo cual se hace referencia como 1 p.u al voltaje y frecuencia de la red.

Como siguiente acción se dispone a igualar las frecuencias de la línea así como la del generador, estas frecuencias deben ser iguales a 1 p.u. (60Hz).

La siguiente acción es la sincronización con el sincronoscopio, esta se debe realizar cuando éste gira de la manera más lenta y se iguala con 0, este es el

punto exacto donde se puede llevar el generador al acoplamiento en línea, donde se cierra el interruptor de sincronismo.

Los casos que se pueden presentar son los siguientes:

El voltaje del grupo y la línea son iguales, pero la frecuencia del grupo es menor.

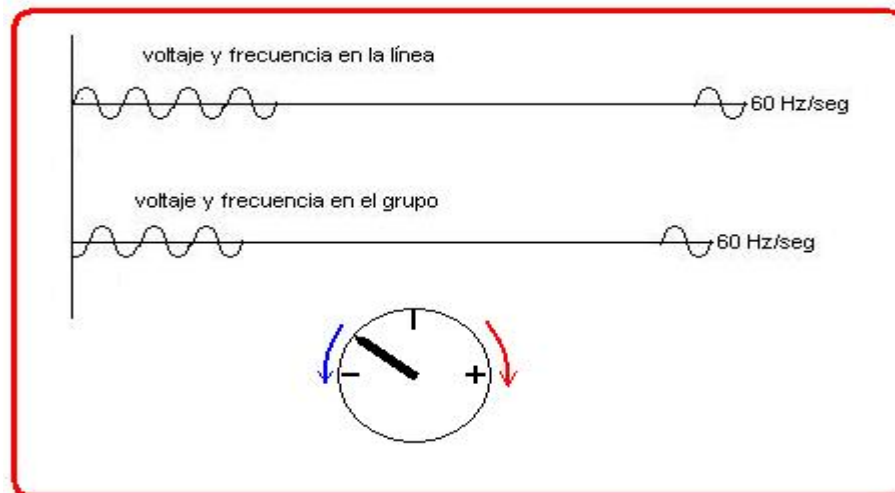


Figura 4-16. Caso 1 Sincroscopio.

El sentido de giro de la aguja del sincroscopio es en sentido contra horario o hacia menos (-)

El voltaje del grupo y la línea son iguales, pero la frecuencia del grupo es mayor que la de la línea

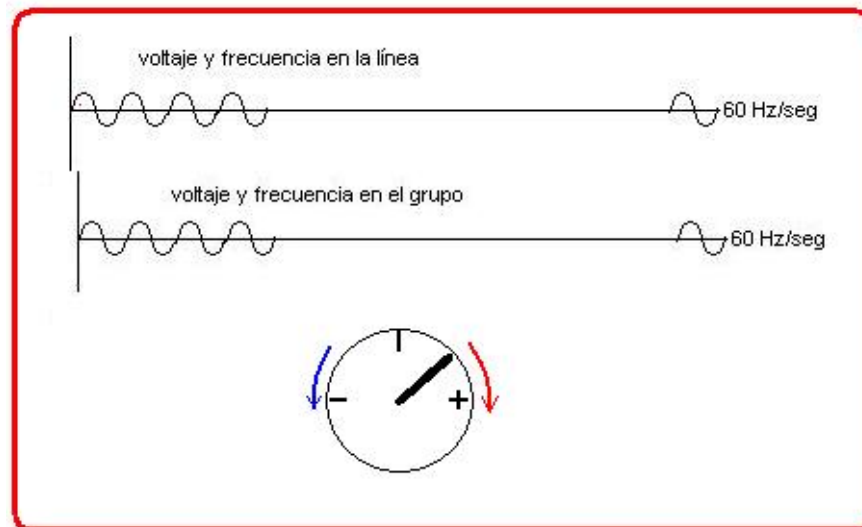


Figura 4-17. Caso 2 Sincronoscopio.

El sentido de giro de la aguja del sincronoscopio es en sentido horario o hacia más (+).

Cuando la aguja del sincronoscopio gira en sentido horario o hacia (+) y llega al punto centro es el momento exacto de la sincronización; es el momento que el ángulo de fase es cero.

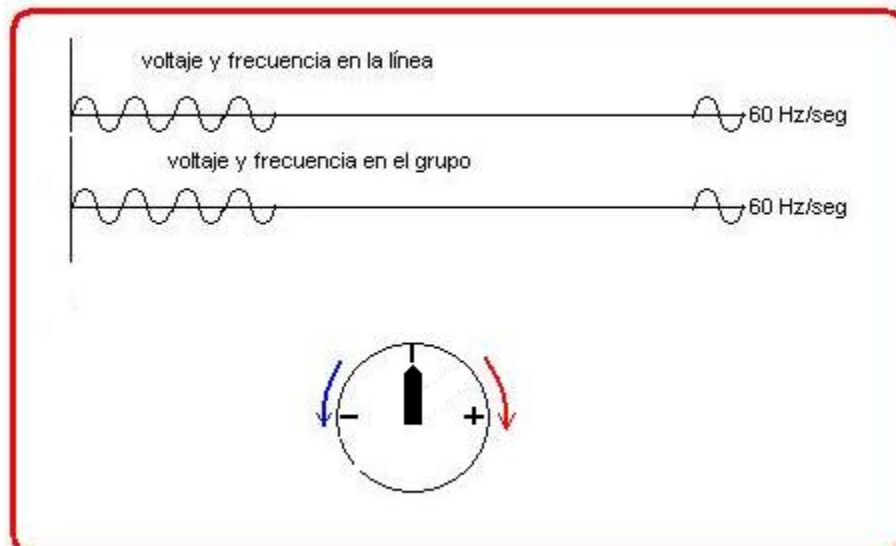


Figura 4-18. Caso 3 Sincronoscopio.

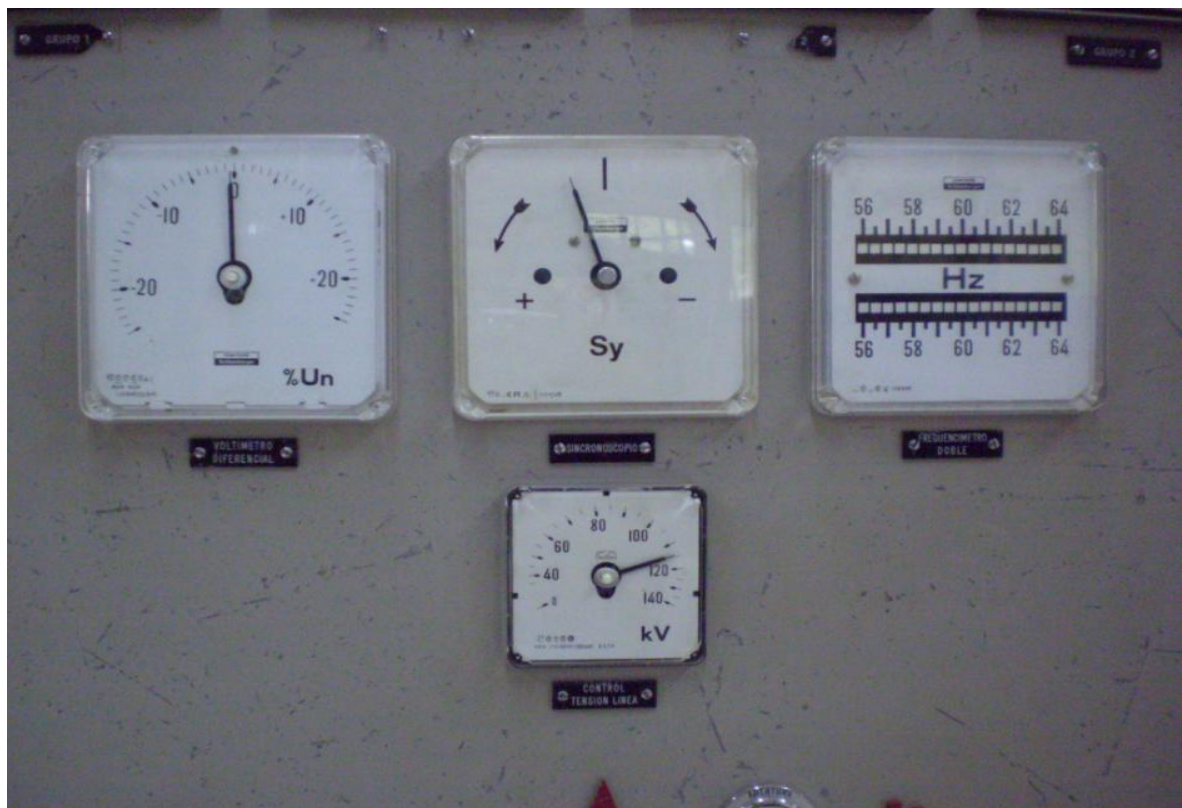


Figura 4-19. Sincronoscopio.



Figura 4-20. Sincronoscopio.

Para la implementación se utilizaron los modelos tanto del sistema de excitación como el del regulador de velocidad, en la *figura 3-12* se muestra el panel frontal de la implementación de la práctica de sincronización.

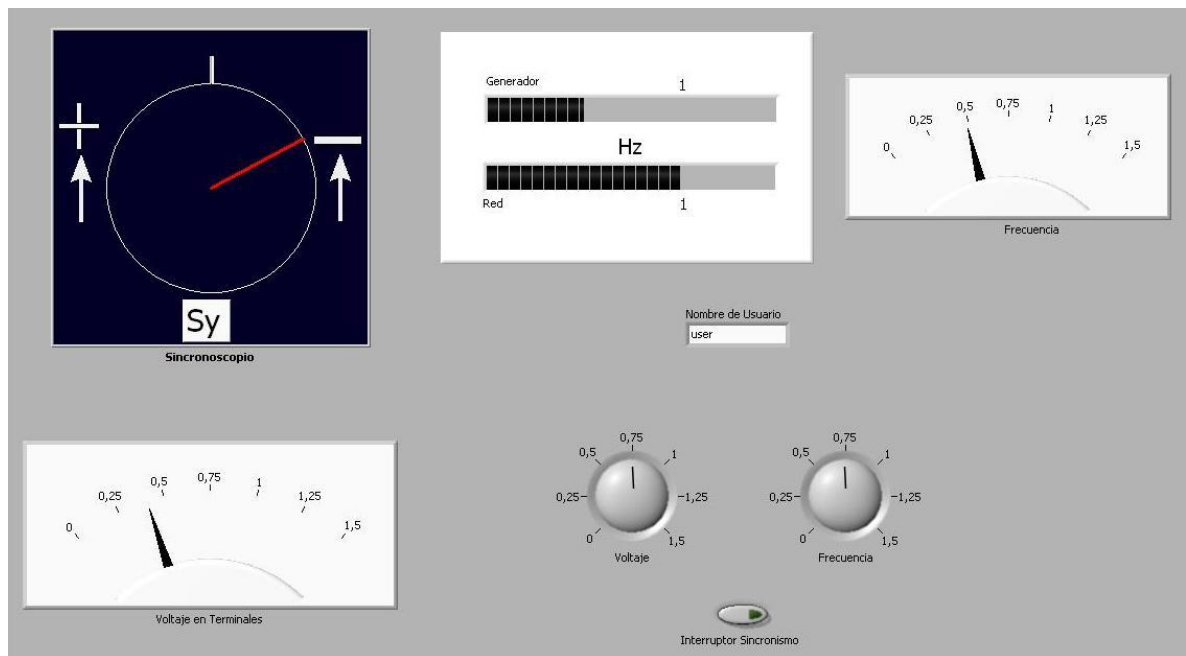


Figura 4-21. Panel frontal de la práctica de sincronización en LabVIEW.

4.3. PARADA.

Para la maniobras de parada se debe repetir el proceso de arranque a la inversa, con algunas diferencia que se tienen en cuenta para llevar a cabo la secuencia satisfactoriamente.

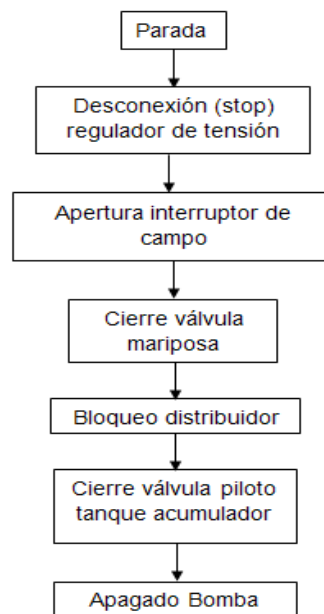


Figura 4-22. Diagrama de flujo práctica Parada.

La primera acción que se debe llevar a cabo, es la apertura del interruptor de sincronismo, esto saca la máquina de línea.

Lo siguiente que se debe realizar es la des-conexión del regulador de tensión (Stop), esta maniobra se observa en el panel de control donde se ven los 5 pilotos que son: regulador desconectado, regulador conectado, interruptor abierto, sub excitación y sobre excitación.

La tensión regresa gradualmente a 0, se puede ver en el voltímetro el descenso de la tensión.

Se abre el interruptor de excitación.

La diferencia con la secuencia de arranque radica en que para la parada se cierra primero la válvula principal, donde la presión que se encontraba en 11 Bar cae a 0.

A continuación se bloquea el distribuidor donde la velocidad comienza a descender así como la tensión de DC.

Se corresponde a realizar el apagado de la bomba de regulación de aceite que se encontraba funcionando con su respectivo switch.

Por última medida se regresa el selector de bombas a off para poner todos los sistemas listos para un nuevo arranque así finalizando la parada de la unidad.

Se implementó un sistema secuencial el cual permite la desactivación de los sistemas que se activan en el arranque, en la *figura 4-23* se muestra el panel frontal con los mandos requeridos.

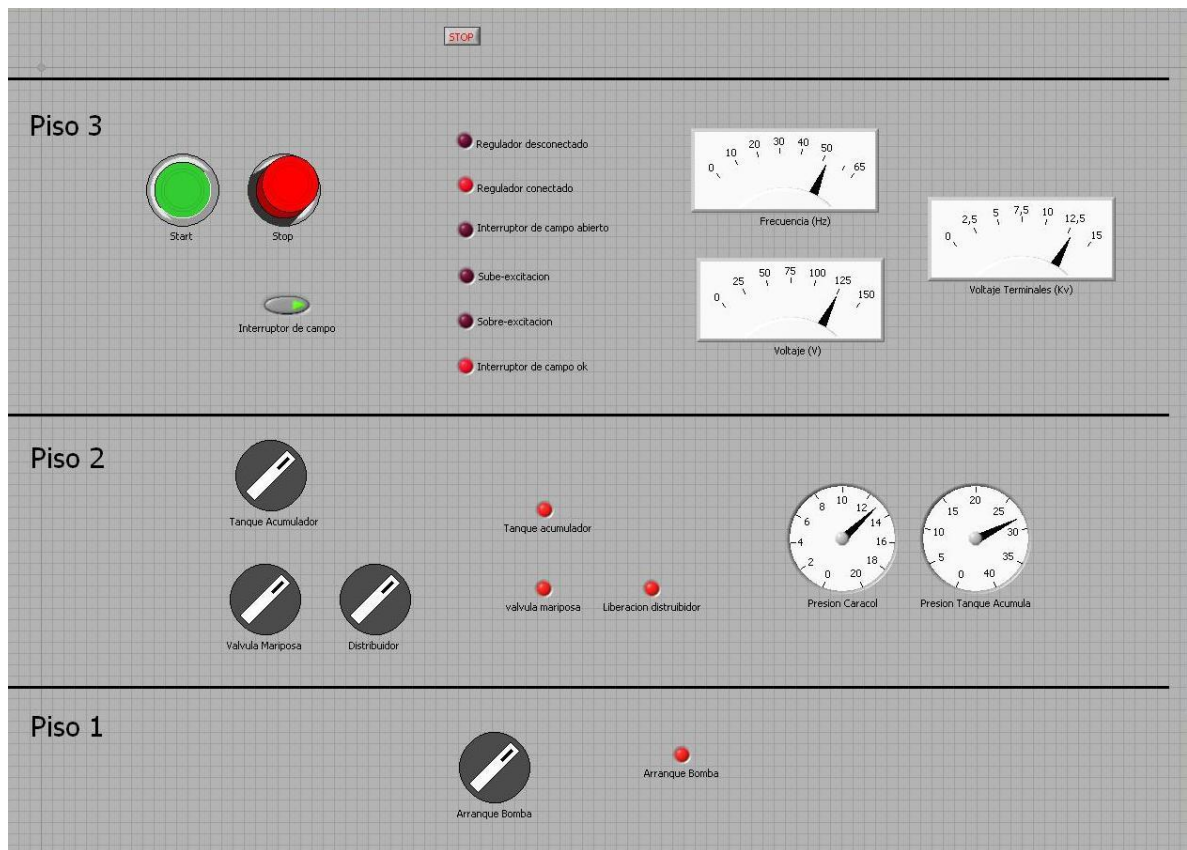


Figura 4-23. Panel frontal de la práctica de parada en LabVIEW.

4.4. MONITOREO.

En este laboratorio se implementa una falla típica que puede afectar al sistema de excitación, en donde el operario puede ver como se ponen en funcionamiento las protecciones necesarias para dicha falla.

La falla presente en el laboratorio es de sobre-voltaje la cual pone en marcha la protección de sobre-voltaje. Esta protección funciona con un valor predeterminado de sobretensión. Este consiste de un relé de sobre-voltaje. Cuando la falla ocurre, actúan y ocurre el disparo del interruptor de grupo.

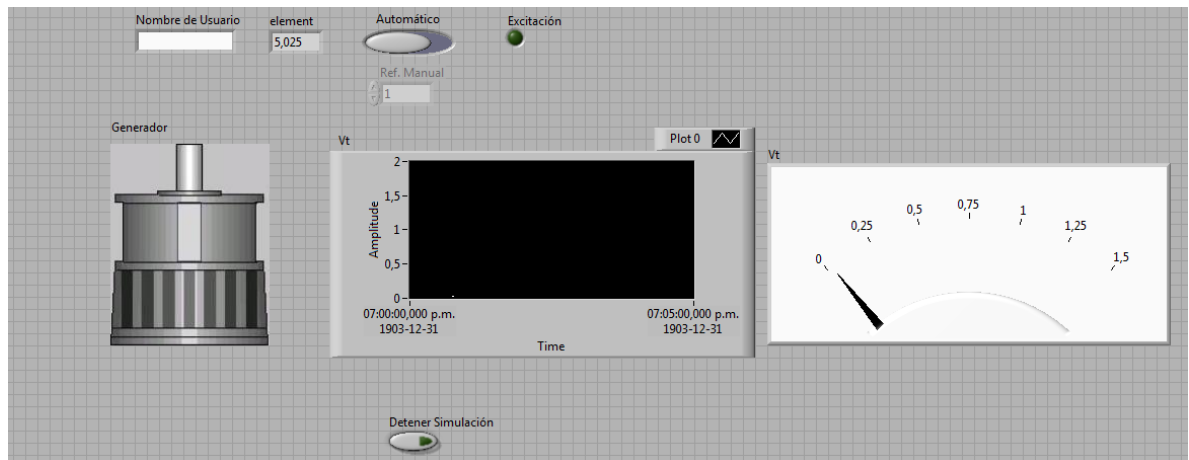


Figura 4-24. Implementación panel frontal monitoreo.

En el laboratorio se observa como la señal se encuentra estable y de un momento a otro se presenta un sobre voltaje momento en que la protección hace su labor y el relé realiza el disparo para apagar el grupo, en la *figura 4-25 y 4-26* se muestra el momento justo en el que ocurre la falla y cuando comienza la protección hacer su efecto.

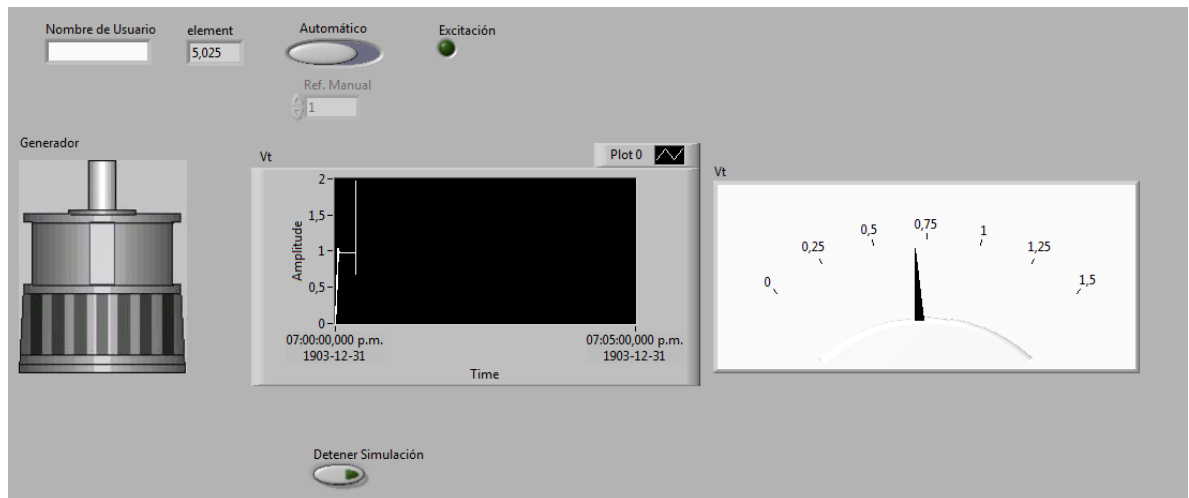


Figura 4-25. Implementación panel frontal monitoreo.

En la *figura 4-26* se observa como cae el voltaje en terminales después de ocurrida la falla y activada la protección correspondiente

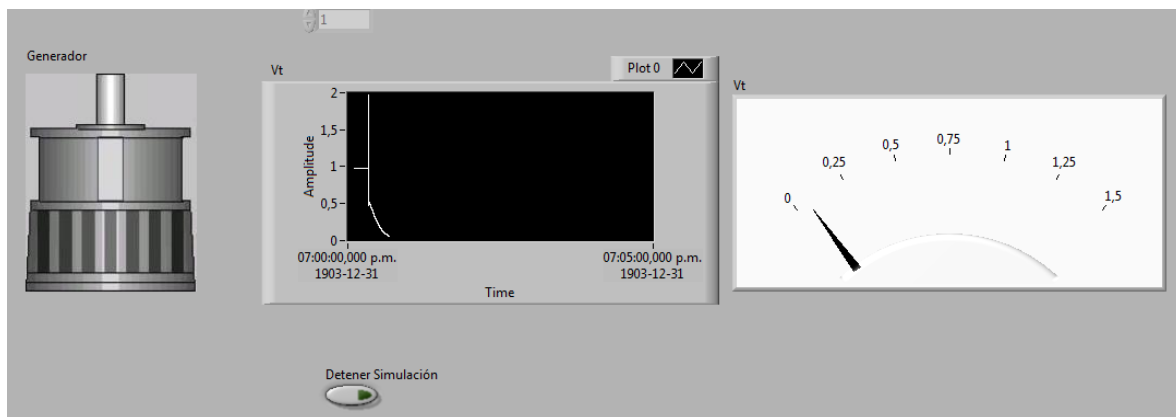


Figura 4-26. Implementación panel frontal monitoreo.

4.5. FALLA Y RESPUESTA.

En este laboratorio se implementa la falla tierra en rotor donde grandes oscilaciones en el sistema de tensión impiden su normal desempeño.

El evento inmediato posterior a esta falla, es el paro o salida de línea de la unidad y apagado del sistema de excitación y servicios auxiliares, para lo cual se puede realizar un paro con la parada de emergencia.

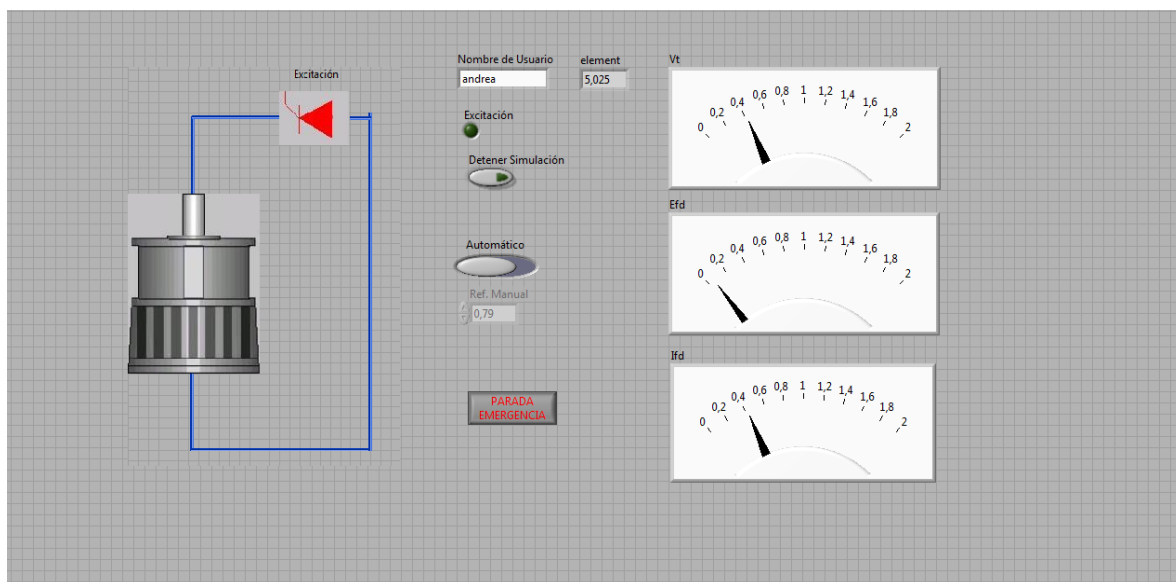


Figura 4-27. Implementación falla y respuesta.

Ocurre una falla en la cual se presentan oscilaciones de voltaje y de corriente en el sistema *figura 4-28*. En este caso las protecciones no se activan a propósito debido a que cuando se activan lo hacen a una velocidad tan elevada que un operario no alcanza a maniobrar. El operario recurre a la parada de emergencia como medio para evitar posibles daños en la unidad.

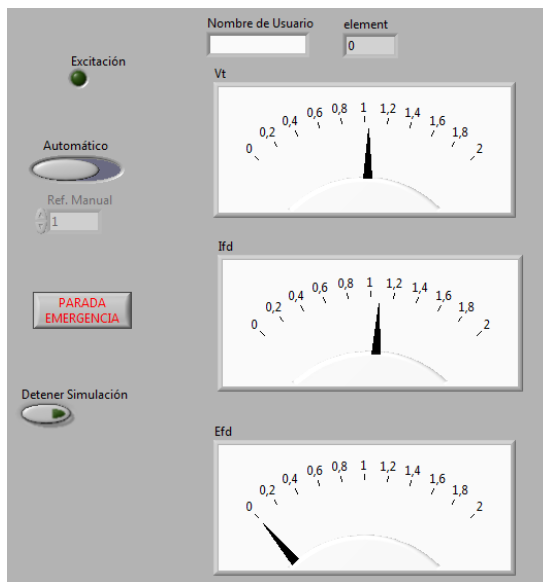


Figura 4-28. Falla.

Parada de emergencia de un grupo: Quién ejecuta este tipo de paradas son los relés auxiliares de disparo, realizan la apertura del interruptor de campo para quitarle la excitación al generador. Esta operación garantiza que un generador desconectado de la red y retirada su excitación máxima, disminuye los efectos por daños internos al devanado estatorico o si tiene fallas por sobre voltaje quedan anuladas inmediatamente *figura 4-29*.

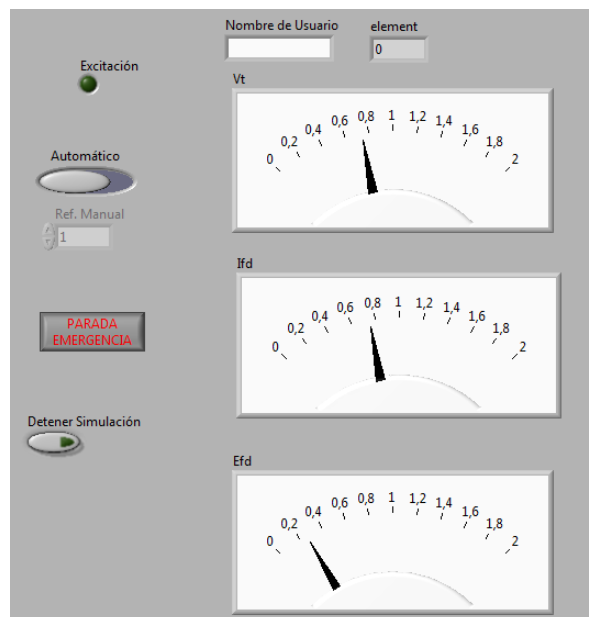


Figura 4-29. Respuesta.

5. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- Por medio de la investigación y de las entrevistas realizadas se determinó que las principales maniobras que un operario debe conocer son: El arranque, la sincronización y la parada de una unidad.
- Se logró concebir un sistema de entrenamiento que permite practicar las maniobras fundamentales de una planta de generación eléctrica (arranqué, sincronización y la parada).
- Se realizaron laboratorios en los cuales se puede observar diferentes fallas, en una el operario realiza maniobras de emergencia y en la otra realiza funciones de monitoreo debido a que se activa la protección correspondiente.
- El software LabView ofrece características de ejecución en tiempo real, versatilidad para la operación de HMI remotas y herramientas matemáticas, que permitieron la implementación del sistema de entrenamiento.
- Se puede concluir que la implementación en LabView se realizó de la mejor manera con el sistema de excitación y regulador de velocidad, necesarias para los laboratorios. Aunque se presentaron diversos atenuantes al momento de la puesta en marcha por las condiciones iniciales de los integradores, el manejo de las variables de entrada y salida de las funciones debido al manejo diferente que se hace de ella entre Matlab y LabView, las cuales fueron superadas.
- En las maniobras de arranque y la parada se implementó una secuencia que las representa de manera estática, se puede adicionar el comportamiento dinámico usando los modelos que la representan.
- En la práctica de falla se comprobó el tiempo de reacción que tiene de respuesta un operario ante una falla cuando se encuentra en ejecución el sistema de excitación.
- Para la práctica de monitoreo se toma como base el sistema de excitación de la Salvajina y se logró comprobar que se puede implementar protecciones en el sistema, comprobado por el entrenamiento por medio de los indicadores.

- Para realizar la implementación del modelo cliente/servidor, se debe de tener en cuenta que en el momento de efectuar las prácticas guiadas el número de clientes depende de la velocidad que posee la red y de la capacidad del servidor. Si la cantidad de clientes aumenta, la velocidad disminuye generando pequeños retardos.
- El cliente solo tiene acceso al panel frontal del VI por medio de una página web, el no puede interactuar ni manipular los parámetros de las dinámicas en el entorno de desarrollo.
- Se presentan pequeños retardos de tiempo al realizar la conexión en red en la práctica de sincronización debido a que las dos dinámicas (Regulador de velocidad y Sistema de excitación) corren en paralelo, lo que causa que la ejecución del programa sea más lento, esto depende de la capacidad de la red y del desempeño del computador servidor.
- En la práctica donde se realiza la evaluación y el informe, se recomienda efectuarla persona por persona, con el fin de que el entrenador pueda supervisar los avances del entrenamiento y que el informe generado no tenga ningún problema en el momento de ser guardado en el computador del servidor. Esta circunstancia es debido a que el bloque que genera el informe tiene como orden “crear nuevo y sobre-escribir” y cuando llegan las ordenes de dos informes para ser guardados el bloque genera un error en la escritura lo que genera que los informes no se guarden correctamente.

6. TRABAJOS FUTUROS

Para el sistema de entrenamiento se utilizó como base las dinámicas de la central de Salvajina, se recomienda realizar las practicas con modelos de la norma IEEE (ANSI/IEEE std 421.5–1992) que representen el comportamiento de centrales, con el fin de dar al sistema la generalidad que necesita.

Para complementar y mejorar las prácticas se debe tener todas las dinámicas referidas en las maniobras que intervienen, como por ejemplo las dinámicas del sistema neumático, hidráulico, etc.

Para medir la reacción de los operarios a diferentes tipos de fallas se recomienda la implementación de modelos más completos donde se puedan introducir las fallas típicas con las cuales se podrá obtener las reacciones de los entrenados, así como un completo diagnóstico del sistema.

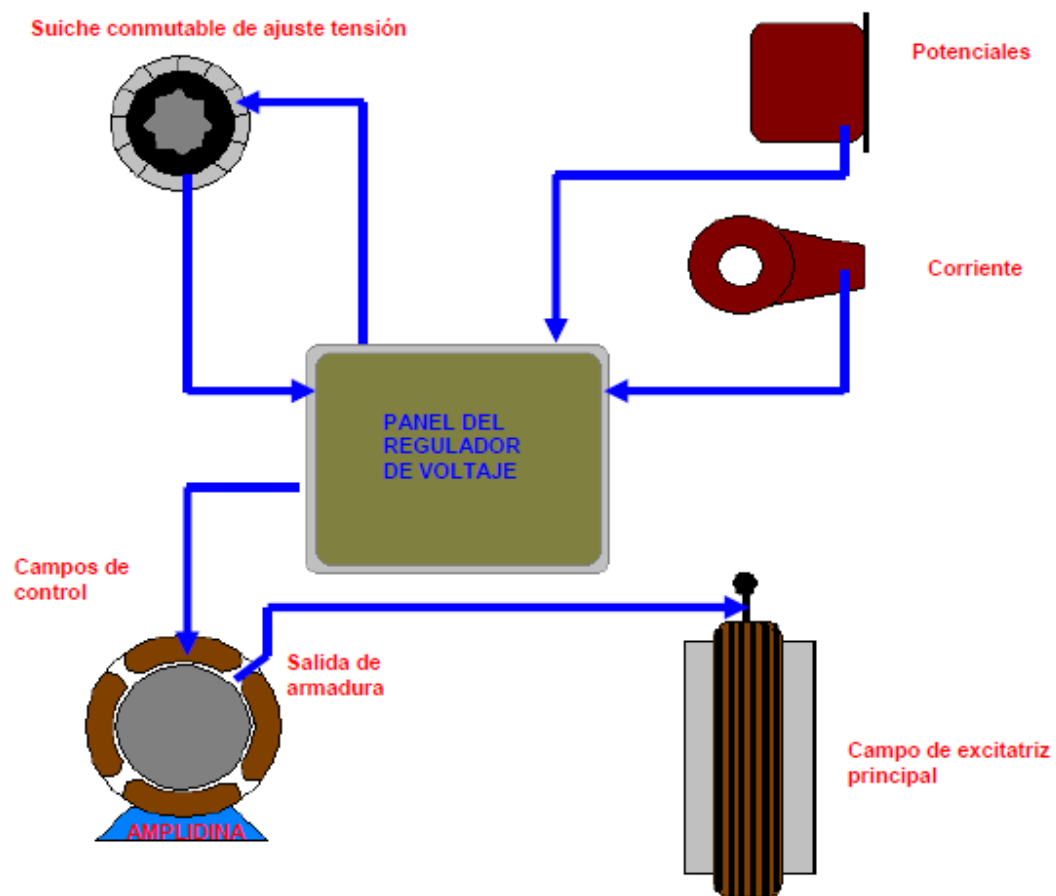
En la maniobra de sincronización se tiene una muy buena correspondencia debido a la implementación del sincronoscopio; el modelo utilizado de voltaje y velocidad son los de vacío, por lo que la operación del sistema interconectado a la red eléctrica para entrega de reactivos, requiere la adición de modelos de operación en línea.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. SAAVEDRA, Andres Julian. Modelado para estudios de estabilidad de los sistemas de control de velocidad y excitación de la central salvajina. Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2002.
2. KUNDOR, Prabha Shankar. Power system stability and control. United States: Mc Graw Hill, 1994 P 128-136,315-460.
3. P. M. ANDERSON and A. A. Fouad, " Power System Control and Stability ", The Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA, Ch. 4, 1977.
4. VARGAS, Luis, Sistema de excitación de maquinas síncronas Apuntes Curso EL 67J Fenómenos Dinámicos de Redes de Potencia. Version Primavera 2005, Santiago de Chile, Universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería eléctrica, 2005.
5. J. ARRILLAGA, C. P. Arnold and B. J. Harker," Computer Modeling of Electrical Power Systems ",Jhon Wiley & Sons, 1983.
6. NATIONAL INSTRUMENTS. Simultaneously Controlling LabVIEW Remote Front Panels. Disponible en Internet: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4867>
7. SUESCÚN, Ismael monsalve, Regulación de velocidad, Colombia, Universidad de Antioquia, Capitulo 6.
8. BRAVO, Fernando A. Manual de funcionamiento de equipos y sistemas Proyecto de capacitación centrales electricas del cauca, Cauca Colombia, Octubre del 2008.
9. (*"Diseño de un simulador para el gobernador de una planta hidroeléctrica en lenguaje LabView"* en el Instituto Tecnológico de Costa Rica por Luis Diego Bianchini Obando.)

ANEXO A

ESQUEMA



ANEXO B

MONTAJE FISICO

