

# Sincronoscopio Virtual para un Sistema Multimáquina de Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia

Valenzuela A.\*; Játiva J.\*

\*Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador  
e-mail: david.valenzuela@epn.edu.ec; jesus.jativa@epn.edu.ec

**Resumen:** Este trabajo tiene como objetivo la construcción de un sincronoscopio virtual para un sistema multimáquina del laboratorio de sistemas eléctricos de potencia de la Escuela Politécnica Nacional, utilizando como dispositivos de adquisición de datos las tarjetas NI USB 6008 de National Instruments, las cuales utilizan la plataforma NI LabVIEW para procesar, analizar y visualizar las variables eléctricas en una interfaz gráfica (HMI). El instrumento tiene la capacidad de realizar la sincronización de máquinas verificando voltajes de línea, frecuencias, secuencias de fases y voltaje diferencial, así como medir potencia activa, reactiva, aparente, y factor de potencia de un sistema multimáquina.

**Palabras clave:** Sincronoscopio virtual, sistema multimáquina, sistemas eléctricos de potencia, interfaz hombre máquina (HMI), máquinas de inducción y sincrónicas.

**Abstract:** This work is aimed at building a virtual synchroscope for a multimachine system of the electrical power system laboratory at the National Polytechnic School, using as data acquisition device a NI USB 6008 card from National Instruments, which uses the NI platform LabVIEW to process, analyze and display the electrical variables in a Human-Machine Interface (HMI). This instrument allows to synchronizemachines by verifying line voltages, frequencies, phase sequences and differential voltage, as well as measure of active, reactive, apparent power and power factor of a multimachinesystem.

**Keywords:** Virtual synchroscope, multimachine system, electrical power systems, human machine interface (HMI), induction and synchronous machines.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la tecnología permite diseñar equipos de adquisición de datos, procesamiento de señales y medición de variables eléctricas en tiempo real, posibilitando su uso en aplicaciones de monitoreo y control de procesos en la industria o centros de educación. El desarrollo del Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia demanda la operación de varios grupos motor-generador funcionando en paralelo. El sistema multimáquina está constituido por máquinas de inducción y máquinas sincrónicas, las cuales pueden entregar o absorber potencia activa, funcionando como motor o generador cualquiera de las máquinas eléctricas. Las máquinas de inducción siempre absorben potencia reactiva ya sea funcionando como motor o generador, mientras que las máquinas sincrónicas tienen la facilidad de operar con factores de potencia en adelanto o atraso independiente de su modo de funcionamiento.

### 1.1 Máquina de inducción

Las máquinas de inducción son las de mayor utilización en los sectores industrial, comercial y residencial debido a su alta eficiencia, robustez y confiabilidad.

Los componentes esenciales de una máquina de inducción son: estator y rotor, el primero es la parte estacionaria, donde se alojan los devanados por los cuales circula corriente

alterna que produce un campo magnético giratorio sobre la periferia del rotor, a velocidad de sincronismo como se indica en la ecuación (1). El campo magnético rotativo produce en el rotor una fuerza electromotriz que induce en cada de las bobinas una corriente, este fenómeno tiende a hacer girar el rotor a una velocidad casi igual a la de sincronismo.

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (1)$$

Las máquinas de inducción tienen la funcionalidad de ser usadas como motores o generadores, dependiendo de la aplicación.

#### 1.1.1 Máquina de inducción como motor

Cuando funciona como motor, la máquina de inducción transforma la energía eléctrica de la red en energía mecánica, consumiendo potencia activa y reactiva del suministro eléctrico, Fig.1.

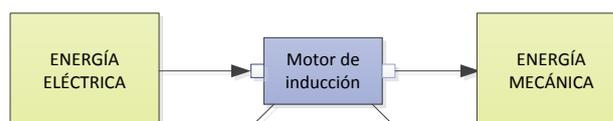


Figura 1. Conversión de energía en el motor de inducción

El control de la velocidad de un motor de inducción se efectúa con métodos externos tales como, control de frecuencia, cambio de polos en el estator o control de voltaje del estator.

### 1.1.2 Máquina de inducción como generador

Los generadores asincrónicos a lo largo de la historia no fueron utilizados, sino hasta el aprovechamiento de las energías renovables, donde actualmente se utilizan en centrales eólicas o en pequeñas centrales hidroeléctricas.

Al operar como generador la velocidad del rotor es mayor que la velocidad de sincronismo y si se incrementa el torque aplicado al eje del generador, se aumenta la cantidad de potencia activa producida por el generador, Fig. 2. Debido a que no dispone de un circuito de campo magnético, la máquina consume potencia reactiva del sistema eléctrico, por tanto estos generadores deben conectarse a una barra de voltaje y frecuencia constantes.

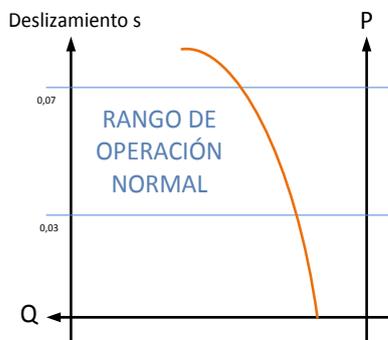


Figura 2. Rango de operación generador de inducción

### 1.2 Máquina Sincrónica

La máquina sincrónica tiene la facilidad de funcionar como motor o generador y además puede controlar el factor de potencia, como su nombre lo indica funciona a velocidad sincrónica.

Los componentes esenciales de una máquina sincrónica son rotor y estator, según el tipo de rotor se clasifican en máquinas de rotor cilíndrico o de polos salientes.

#### 1.2.1 Máquina sincrónica como motor

La máquina sincrónica al funcionar como motor permite la conversión de potencia eléctrica en mecánica, con la particularidad de que la velocidad del rotor es la misma que la sincrónica. Esta velocidad es independiente de la carga mientras no sobrepase los rangos nominales de la máquina motriz.

El motor sincrónico es una máquina de doble alimentación de energía, es por tanto necesario introducir corriente continua en el devanado de campo (rotor) y además aplicar corriente alterna trifásica en la armadura (estator). En el primer caso se induce en la periferia del rotor un campo magnético estacionario, mientras lo segundo provoca circulación de

corriente en los devanados de la armadura, produciéndose un campo magnético uniforme rotatorio.

#### 1.2.2 Máquina sincrónica como generador

Al aplicar corriente continua al devanado del rotor, éste produce un campo magnético, si el rotor está en movimiento por medio de una máquina motriz, dicho campo será rotacional e inducirá un voltaje en los devanados trifásicos de la armadura, transformando la energía mecánica en eléctrica.

Con un generador sincrónico es posible variar la cantidad de potencia activa, a través del control del torque impuesto en el rotor por la acción de la fuente mecánica de energía, además es posible variar la cantidad de potencia reactiva que absorbe o entrega al sistema, mediante la variación de la corriente de campo.

#### 1.3 Funcionamiento en paralelo de generadores sincrónicos

Las condiciones necesarias para la conexión en paralelo de generadores deben satisfacer dentro de un rango muy pequeño las siguientes condiciones:

- La magnitud del voltaje del grupo motor-generador entrante debe ser igual a la del otro grupo motor-generador.
- La frecuencia de los dos sistemas de generación debe ser de igual magnitud.
- Los dos generadores deben tener la misma secuencia de fases.
- Igualdad en los ángulos de los voltajes terminales de ambos sistemas de generación.

Si existe el cierre arbitrario del interruptor, los grupos motor-generador se verán expuestos a grandes esfuerzos y con ello a disminuir su vida útil. La conexión de las máquinas para la puesta en paralelo de generadores se muestra en la Fig. 3.

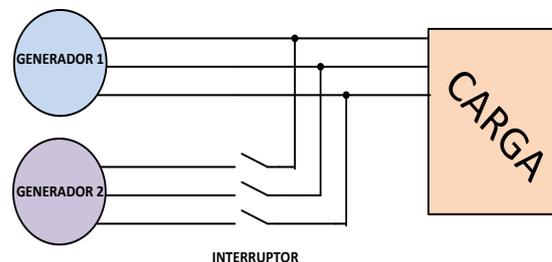


Figura 3. Conexión para puesta en paralelo de generadores

## 2. DISEÑO DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA Y VIRTUAL

El trabajo consiste en la construcción de un sincronoscopio virtual, para acoplar un generador a la red de suministro de energía eléctrica o la conexión en paralelo de dos generadores sincrónicos. Para representar un sistema

eléctrico real se utilizan líneas de transmisión de laboratorio, en la cual se miden los flujos de potencia activa y reactiva inyectados o absorbidos por cada uno de los generadores sincrónicos, además de la potencia activa y reactiva absorbida por una carga trifásica, Fig. 4.

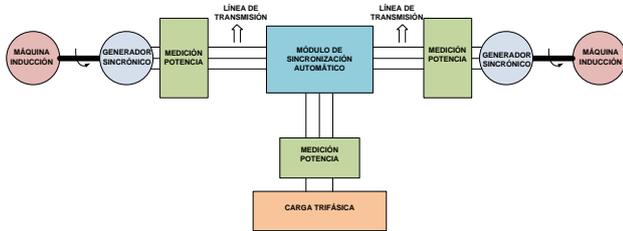


Figura 4. Sistema multimáquina de laboratorio

El proceso de sincronización y la medición de flujos de potencia se realizan por medio de un dispositivo de adquisición de datos y una interfaz gráfica desarrollada en software LabVIEW.

Para la etapa de sincronización de generadores se deben establecer condiciones, tales como correspondencia de secuencia de fases de ambos sistemas, comparación de voltajes, comparación de frecuencias y voltaje diferencial entre sistemas, con el fin de no dañar a los generadores sincrónicos. La medición de flujos de potencia se basa en la medición de fasores de voltajes y corriente en el sistema multimáquina. Con el objeto de aprovechar al máximo las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos se utiliza el método de Aron o método de los dos vatímetros.

El proceso de sincronización necesita de 6 entradas analógicas de la tarjeta de adquisición de datos, 3 para cada uno de los sistemas de generación, con el fin de comparar magnitudes de voltaje, frecuencia y secuencia, además se utiliza 1 entrada diferencial para medir el voltaje diferencial entre los dos sistemas de generación.

Para el cálculo de flujos de potencia se utilizan 10 entradas analógicas: 4 entradas para la medición de voltajes y 4 entradas para la medición de corriente en la línea de transmisión y 2 entradas para la medición de corriente que circula hacia la carga.

### 2.1 Desarrollo del hardware

El módulo de sincronización permite acoplar generadores sincrónicos entre sí o realizar la conexión en paralelo de un generador al sistema eléctrico, mediante el cierre de contactores trifásicos. La señal de cierre es enviada desde la tarjeta de adquisición de datos, siempre y cuando se cumplan los requisitos de sincronización que previamente son verificados mediante la visualización en LabVIEW.

Los procesos llevados a cabo por el prototipo de sincronización y medición de flujos de potencia se muestran

en los diagramas de bloques de la Fig. 5 y Fig. 6 respectivamente.

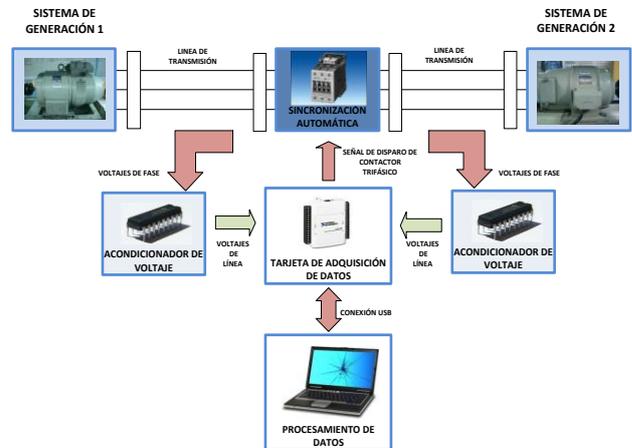


Figura 5. Diagrama de bloques para sincronización

En el sistema generador – generador o generador – red eléctrica se toman medidas de potencia activa, reactiva y aparente que fluyen entre los sistemas. Para realizar este proceso se deben tener dos señales de voltaje y dos señales de corriente por cada punto de medición.

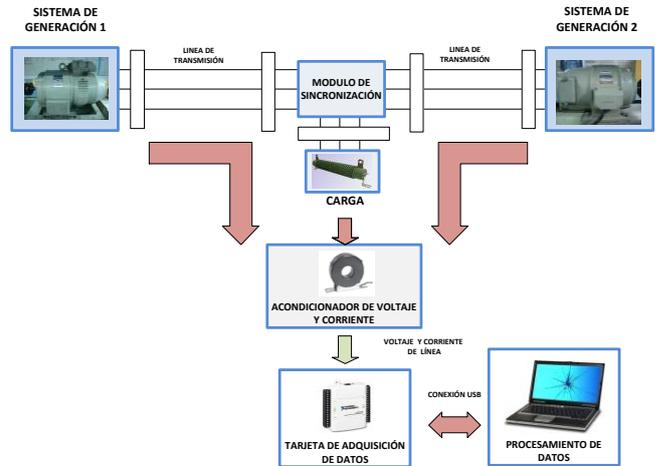


Figura 6. Diagrama de bloques para medición de flujos de potencia

#### 2.1.1 Medición de voltaje

En el proceso de sincronización y medición de potencia se realiza la medición de los voltajes de línea de ambos sistemas de generación.

Es necesario acondicionar la señal de voltaje al máximo rango que soporta la tarjeta de adquisición de datos, es decir de  $\pm 10$  V, por ende se utilizan transformadores, divisores de voltaje, además de diodos zener y fusibles como elementos de protección para voltaje y corriente respectivamente. Se obtienen voltajes compuestos por medio de amplificadores operacionales.

#### Conexión de transformadores monofásicos

Al utilizar transformadores monofásicos, es necesario la construcción de 3 bancos de transformadores trifásicos en conexión Dyn11, Fig. 7. Se ha optado por esta conexión debido a que los generadores de laboratorio internamente están conectados en triángulo. En el secundario se dispone de un neutro el cual es el punto común de los transformadores, y además es el punto de referencia para la adquisición de datos. Este punto común debe ser conectado al neutro de la red eléctrica.

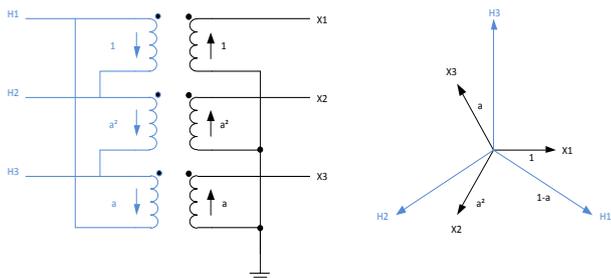


Figura 7. Banco de transformadores en conexión Dyn11

El desfase existente entre el voltaje primario y el voltaje secundario del banco de transformadores es corregido por medio de software en el cálculo de flujos de potencia y en el proceso de sincronización.

#### Divisor de voltaje resistivo

Con el fin de asegurar el funcionamiento de los 12 divisores de voltaje usados en la etapa de medición de potencia y en el proceso de sincronización, el divisor de voltaje se diseña para el voltaje secundario entre fase y neutro de los transformadores, tal como se muestra en la Fig. 8. Como elementos de protección de sobre voltajes en cada una de las fases se utilizarán diodos zener de 3,9 V, los cuales recortan los picos de voltaje mayores a dicho valor, protegiendo la tarjeta de adquisición de datos.

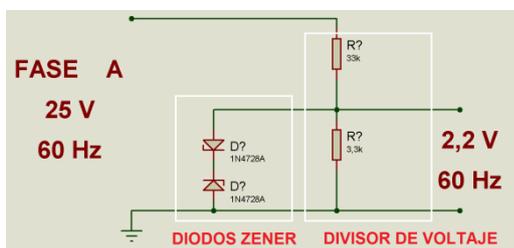


Figura 8. Divisor de voltaje resistivo y diodos zener como protección

#### Composición del voltaje de línea

En los circuitos trifásicos se denomina voltaje de fase a la diferencia de potencial entre cada una de las fases y el neutro del sistema, mientras que el voltaje de línea se define como la diferencia de potencial entre un par de fases. Esta diferencia debe realizarse tomando en cuenta magnitud y ángulo de los fasores, Fig. 9.

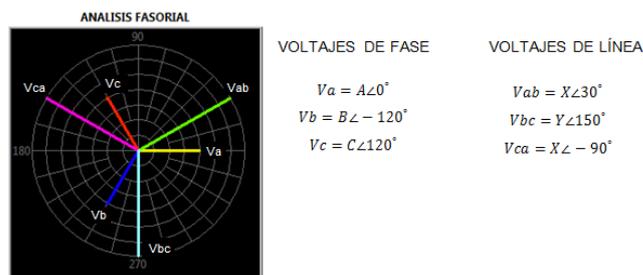


Figura 9. Diagrama fasorial voltajes de línea y voltaje de fase

La diferencia de voltajes se realiza mediante circuitos con amplificadores operacionales, la primera etapa funciona como seguidor de voltaje y en la segunda como un restador de señales eléctricas, tal como se muestra en la Fig. 10.

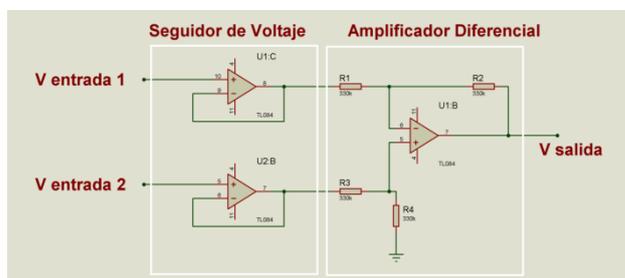


Figura 10. Acondicionamiento de voltajes

En el proyecto se utiliza el integrado TL084 que consta de 4 amplificadores operacionales por pastilla con alimentación de  $\pm 12V$ . El diseño del circuito restador tiene ganancia unitaria, donde las resistencias tienen el mismo valor de 330 kΩ, con el objetivo de tener una mayor impedancia y disminuir la corriente circulante.

#### 2.1.2 Medición de corriente

La medición de flujos de potencia en el sistema multimáquina implica la medición de corriente que se encuentra circulando en el mismo, tanto en amplitud como en ángulo. Para medir dicha corriente se utilizan transformadores de corriente conectados en estrella que reducen la magnitud, la corriente se transforma en señal de voltaje por medio de resistencias con el fin de que la señal sea admisible para la tarjeta de adquisición de datos.

El devanado primario del transformador de corriente se conecta en serie con el sistema a medir, mientras el devanado secundario se conecta al instrumento de medición, como se indica en la Fig. 11.



Figura 11. Transformador de corriente tipo ventana

Las conexiones en el secundario de los transformadores de corriente pueden ser en triángulo o estrella, en el primer caso, existirá un desfase de  $30^\circ$  entre la corriente del primario y del secundario, mientras que en conexión en estrella no se modifica el desfase entre devanados.

La medición de corriente se realiza por medio de una resistencia en serie con el devanado secundario del transformador de corriente, la resistencia produce una caída de voltaje, la cual ingresa a la tarjeta de adquisición de datos, en el presente trabajo se utiliza resistencias de  $1\Omega$  de 5W de potencia de disipación. En la Fig.12 se muestra el modo de conexión de resistencias para la medición de corriente.

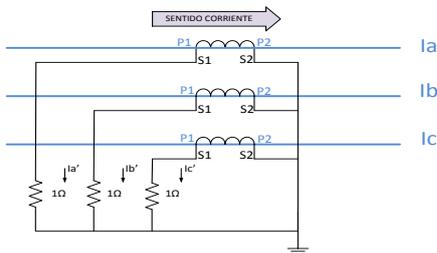


Figura 12. Conexión transformadores de corriente en estrella

### 2.1.3 Circuito de control y fuerza para la sincronización

El proceso de sincronización, a diferencia del proceso de medición de flujos de potencia, envía señales digitales desde la tarjeta de adquisición de datos para activar o desactivar los contactores trifásicos que permiten el acoplamiento entre los sistemas de generación.

Con el fin de proteger y aislar la tarjeta de adquisición de datos con los sistemas de generación, se ha implementado el circuito de protección y control de la Fig. 13.

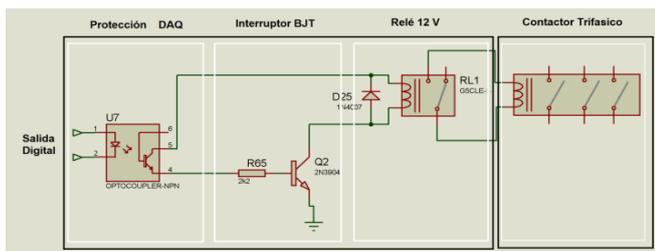


Figura 13. Circuito de protección y control

El disparo del contactor trifásico se realiza en dos etapas, la primera energiza un relé de 12 V, el cual cuenta con un contacto abierto y un contacto cerrado, uno de estos, dependiendo de la aplicación está conectado al voltaje de alimentación (220 V) con el fin de energizar la bobina del contactor trifásico.

Para proteger y aislar los circuitos eléctricos entre sí, se utilizan optoacopladores, los cuales funcionan como interruptores activados mediante un diodo emisor de luz infrarrojo, cuya única conexión entre ambos es óptica. La cantidad de luz infrarroja depende de la corriente circulante

por el diodo emisor. Estos permiten transmitir señales de control a alta frecuencia y conservar la forma de onda de la señal de entrada. En el proyecto se utiliza el optoacoplador 4n25 para protección de las salidas digitales de la tarjeta de adquisición de datos.

Para verificar la activación de los contactores trifásicos se ha diseñado un circuito de medición, conectado directamente a la bobina de los contactores, sirve para mejorar el algoritmo de control y utiliza una entrada digital de la tarjeta de adquisición de datos por cada contactor trifásico. La Fig. 14 muestra el circuito utilizado para comprobar la activación del contactor.

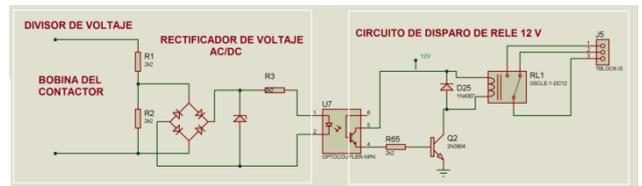


Figura 14. Circuito para comprobar activación del contactor trifásico

### 2.2 Desarrollo de software

El desarrollo de la interfaz gráfica HMI y la programación que realiza la sincronización y medición de flujos de potencia están basados en lenguaje gráfico del software LabVIEW. Los datos ingresan al computador por medio de la tarjeta de adquisición de datos, previo acondicionamiento de las variables eléctricas. La Fig. 15 muestra el diagrama de flujo principal para el proceso de sincronización y medición de flujos de potencia.

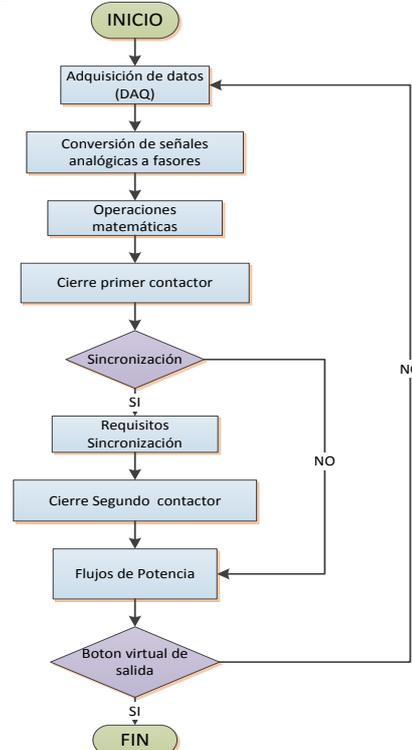


Figura 15. Diagrama de bloques de programación

Adquiridas las señales analógicas, es necesario convertirlas en fasores, para esto se utiliza el módulo de LabVIEW Power Electric Suite, con esta herramienta es posible visualizar la frecuencia de los sistemas, así como los fasores de voltaje, corriente. Para el posterior análisis de las señales eléctricas es conveniente separar en magnitud y ángulo a los fasores utilizando la biblioteca de operaciones matemáticas existentes en LabVIEW.

La pantalla principal del programa para la sincronización y medición de flujos de potencia se muestra en la Fig. 16. Si desean realizar las mediciones se debe seleccionar el botón “INGRESAR”, caso contrario se debe seleccionar el botón de salida de programa “SALIR”.

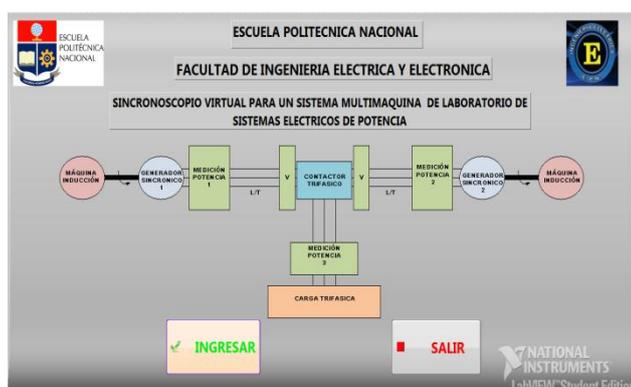


Figura 16. Interfaz gráfica principal

### 2.2.1 Sincronización

En la Fig. 17 se muestra el diagrama de bloques para el acoplamiento de generadores eléctricos, en el cual se compara voltajes, frecuencias, secuencias y se verifica el mínimo voltaje diferencial de ambos sistemas.

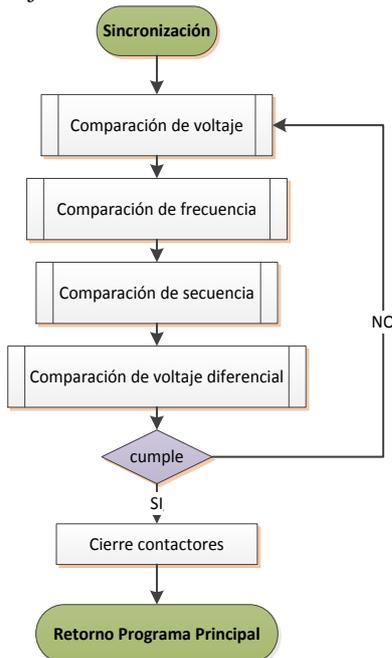


Figura 17. Diagrama de bloques sincronización

Para cumplir la condición de igualdad de voltajes de línea, la diferencia entre las magnitudes de los sistemas de generación debe ser menor al 5%.

La diferencia de frecuencias no debe ser mayor a 0,2 Hz con el fin de precautelar la integridad de los generadores eléctricos.

Tabla 1. Valores permisivos de frecuencia

Límites de Frecuencia	Valor
Máxima	60,2 Hz
Nominal	60 Hz
Mínima	59,8 Hz

En el proceso de sincronización es necesario comprobar la secuencia de fases de ambos sistemas, si tienen la misma secuencia, positiva o negativa, estos pueden acoplarse, si difieren en secuencia, no se pueden sincronizar y es necesario el intercambio de dos fases de cualquiera de los sistemas.

La comprobación de secuencia de fases de los sistemas de generación se realiza con la resta de los ángulos de los fasores de voltaje de las fases 1 y 2, tomando en cuenta que la primera fase que ingresa a la tarjeta de adquisición sirve de referencia para determinar el desfase de las demás. Si la resta entre fase 1 y fase 2, se encuentra alrededor de +120, la secuencia del sistema es positiva caso contrario la secuencia es negativa.

Comprobado secuencia de fases, igualdad de magnitud de voltajes y de frecuencias entre los sistemas de generación, es necesario observar el desfase de ángulo entre fases homónimas de cada uno de los generadores, midiendo el voltaje diferencial entre dichas fases. La diferencia de voltaje admisible para el acoplamiento de los sistemas de generación debe ser menor a 20 V (<10%), con el fin de evitar daños en los generadores.



Figura 18. Interfaz gráfica de sincronización

### 2.2.2. Medición de potencia

La medición de flujos de potencia se realiza a partir del cierre de uno de los contactores de los sistemas de generación, donde el contactor cerrado sirve de nexo entre el generador y la carga, esperando el cierre del otro contactor, que previamente debe cumplir requisitos de sincronización, por

ende se pueden tener dos tipos de conexiones básicas, conexión generación- carga y conexión doble generación- carga.

En la conexión generación- carga, únicamente se mide el flujo de potencia activa y reactiva que se dirige de generación hacia la carga, la generación puede ser cualquiera de los generadores de laboratorio, o la red de energía eléctrica. En esta conexión se tienen 2 mediciones de potencia, en la salida del generador y en la entrada de la carga, por tanto es posible determinar las pérdidas de potencia en la línea de transmisión tal como se indica en la Fig. 19.

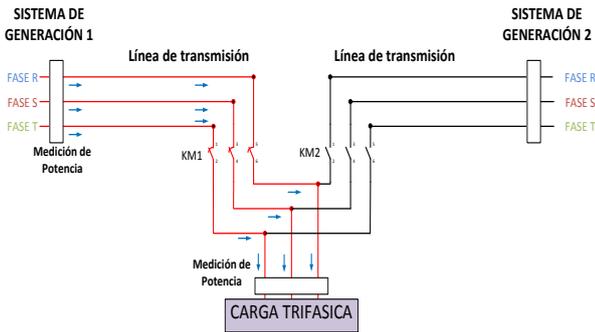


Figura 19. Medición de potencia generador - carga

La conexión doble generación- carga, Fig. 20 corresponde al acoplamiento de los sistemas de generación y carga, en esta conexión es posible visualizar la potencia que fluye desde los generadores hacia la carga, y los flujos de potencia entre generadores. Debido a que es posible motorizar uno de ellos con la disminución de su velocidad, mientras el generador restante va tomando toda la carga.

En esta conexión se tienen 3 lugares de medición de potencia: salida de cada uno de los generadores y entrada de la carga. Con estas mediciones es posible visualizar la entrega o absorción de potencia activa y reactiva de los generadores del sistema multimáquina.

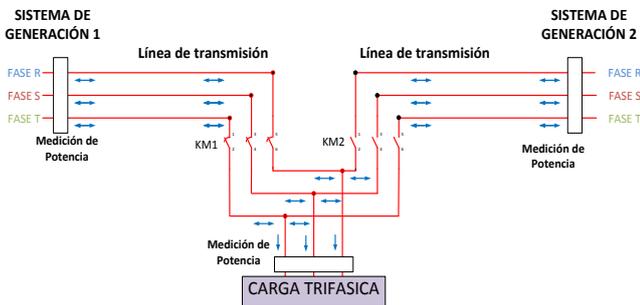


Figura 20. Medición de potencia doble generación- carga

Para determinar la potencia activa y reactiva que fluye por el sistema, es necesario utilizar la biblioteca de operadores matemáticos de LabVIEW, los cuales procesan rápidamente los valores de corriente y voltaje. Mediante indicadores numéricos y gráficos se visualiza en tiempo real los flujos de potencia en cualquiera de las conexiones antes mencionadas,

en la Fig. 21 se muestra la interfaz gráfica existente en cada uno de los puntos de medición de potencia.

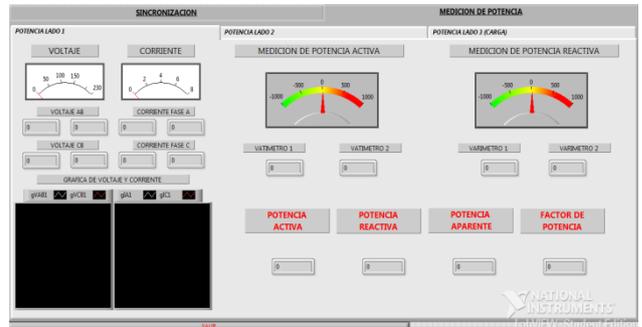


Figura 21. Interfaz gráfica para medición de potencia

### 3. CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DEL SINCRONOSCOPIO VIRTUAL

En el presente proyecto se desarrolla un equipo didáctico para uso en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas, que cuenta con dos tareas independientes, definidas como: sincronización de sistemas de generación y medición de potencias.

El dispositivo construido permite realizar la sincronización de generadores y la medición de potencia en un solo dispositivo. Por lo que permite familiarizar al estudiante con un ambiente similar al de una sala de control, en el cual las variables eléctricas (frecuencias, voltajes, corrientes y potencias) se encuentran presentadas en una interfaz gráfica.

La etapa de sincronización permite al estudiante comprender detalladamente las condiciones necesarias para realizar la conexión de dos sistemas de generación, ya que muestra en pantalla las magnitudes y formas de onda de las variables eléctricas necesarias.

La medición de potencias permite determinar los flujos de potencia activa y reactiva que circulan dentro de un sistema multimáquina. Con los analizadores industriales disponibles en el Laboratorio únicamente se puede medir potencia activa en ambas direcciones, mientras que la potencia reactiva solo es posible con factores de potencia inductivo. El equipo descrito tiene la opción de medir potencias con factores de potencias inductivos y capacitivos. Actualmente existen equipos disponibles en el mercado a precios bastante elevados, por lo que este equipo se constituye en una solución para las necesidades didácticas de estudiantes de ingeniería.

### 4. CONCLUSIONES

La interfaz gráfica permite la visualización de todas las variables involucradas en la sincronización de sistemas de generación, además de indicadores virtuales para la medición

de potencias activa, reactiva y aparente de un sistema multimáquina.

El diseño del módulo didáctico permite realizar la puesta en paralelo de sistemas de generación, de forma manual o automática. En operación manual el usuario verifica los parámetros para sincronización, mientras que en operación automática el software verifica las condiciones adecuadas para ingresar en paralelo.

Las tarjetas de adquisición de datos NI USB 6008 cuentan con entradas analógicas que pueden funcionar en modo diferencial o con referencia a un punto común. En el sincronoscopio se utilizan las dos configuraciones, para la medición de voltajes y corrientes, referenciando las entradas al neutro de la red de energía, mientras que la medida del voltaje diferencial entre sistemas de generación utiliza el modo diferencial.

El módulo didáctico tiene la capacidad de medir valores de potencia reactiva en ambas direcciones, es decir con factores de potencia inductivo o capacitivo, la cual es una característica no disponible en los analizadores de redes del Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

El trabajo diseñado, construido y probado en el presente proyecto permite elevar el nivel tecnológico del Laboratorio de Máquinas Eléctricas, dando al estudiante las facilidades para alcanzar un conocimiento más realista y detallado de un sistema eléctrico de potencia.

## REFERENCIAS

- [1] A. Fitzgerald, C. Kingsley, S. Umans, "Máquinas eléctricas", 6ta ed., México: McGraw-Hill, 2004.
- [2] I. Boldea, S. Nasar, "The Induction Machines Design Handbook", 2nd ed. Florida: CRC – Press, 2010.
- [3] J. Grainger, W. Stevenson, "Análisis de Sistemas de Potencia". 1ra ed., México: McGraw-Hill, 1996
- [4] S. Bhag, Huseyin R, "Máquinas Eléctricas y transformadores", 3era ed., México, Oxford University Press 2002.
- [5] S. Chapman, "Máquinas Eléctricas". 1era ed., Bogota: McGraw-Hill. 1987.
- [6] W. Brokering, R Palma, L. Vargas, "Los sistemas Eléctricos de Potencia" Santiago: Prentice Hall-Pearson Educación, 2008.
- [7] J. Lajara, "LabVIEW entorno gráfico de programación", 2da ed., Alfaomega, 2011.
- [8] C. Barrera, J. Játiva, "Análisis de estabilidad angular en un sistema de laboratorio," Revista Politécnica, vol. 33, 2014.