

PROYECTO FIN DE CARRERA

Presentado a

**LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

Para obtener el título de

INGENIERO ELECTRÓNICO

por

Luis Alejandro Montoya Salazar

***Implementación de protecciones adaptativas por medio de simulación RT-
HIL***

Sustentado el día mes de año frente al jurado:

Composición del jurado

- *Asesor:* Gustavo Andrés Ramos L., Profesor Asistente, Universidad de Los Andes
- *Jurados :* Davis Montenegro M., Asistente Doctoral, Universidad de Los Andes

Tabla de Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	4
2	OBJETIVOS.....	4
2.1	Objetivo General.....	4
2.2	Objetivos Específicos.....	4
2.3	Alcance y productos finales.....	5
3	DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO ...	5
4	MARCO TEÓRICO.....	5
4.1	Simulación Real Time y HIL.....	5
4.2	Consideraciones y Restricciones.....	6
5	TRABAJO REALIZADO.....	7
5.1	Descripción del Resultado Final.....	7
5.2	Trabajo computacional.....	7
6	VALIDACIÓN DEL TRABAJO.....	11
6.1	Metodología de prueba.....	11
6.2	Validación de los resultados del trabajo.....	11
7	DISCUSIÓN.....	12
8	CONCLUSIONES.....	12
9	AGRADECIMIENTOS.....	13
10	REFERENCIAS.....	13
11	APENDICES.....	15

Tabla de Ilustraciones

Figura 1 Esquema de simulación RT-HIL.....	6
Figura 2 Sección del sistema IEEE 13 nodos bajo estudio	6
Figura 3 Máquina de estados del algoritmo representación conceptual.	8
Figura 4 Máquina de estados del algoritmo representación en LabVIEW.....	8
Figura 5 Esquema conceptual de comunicación entre las plataformas RT-HIL. (a) Conexión a través de una red de área local (LAN). (b) Conexión a través de una red área amplia.	9
Figura 6 Código del cliente implementado en LabVIEW.	9
Figura 7 Código del servidor de acceso múltiple en LabVIEW.....	10
Figura 8 Programa realizado en NI LabVIEW.....	10
Figura 9 Montaje simulación RT-HIL a través de una red de área local (LAN).....	11

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad el desarrollo de prototipos y estrategias de control se hacen cada vez más complicado, lo que implica un incremento significativo en los costos del desarrollo de los proyectos; dado este constante crecimiento en los costos del desarrollo de prototipos, se ha desarrollado una estrategia de diseño que consta de dos etapas, la primera constituye la simulación en tiempo real (RTs) y la segunda la implementación en hardware in the loop (HIL). Esta estrategia permite hacer una depuración más cercana a la implementación física de los sistemas, puesto que se puede ver la respuesta y la interacción de los dispositivos tal y como si se tuviera en físico el diseño final.

Adicionalmente, se ha reconocido la ventaja que representa el desarrollo de sistemas mediante simulaciones HIL en la industria automotriz, aeroespacial, militar entre otras; esto se debe a que en la mayoría de los casos no se dispone del tiempo suficiente como para esperar un primer prototipo sobre el cual desarrollar un sistema embebido o estrategia de control. Esto implica que el desarrollo de prototipos a través de simulación HIL disminuye los tiempos de desarrollo al permitir el desarrollo de tarea en paralelo, que anteriormente eran secuenciales.

Dado el creciente interés que se tiene en la actualidad de implementar dicha metodología de desarrollo, se propone como objetivo implementar una estrategia que permita restablecer los parámetros de un relé (relay), para así tener como resultado la implementación de una protección adaptativa.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar y evaluar un esquema hardware-software a través de simulación RT-HIL para validar la funcionalidad de un relé en un esquema de protección adaptativa.

2.2 Objetivos Específicos

Desarrollar la instrumentación necesaria para hacer posible la interfaz HIL, así como el ajuste de las salidas, tanto análogas como digitales que la potencia entregada en la señales sea la suficiente como para accionar el hardware.

Desarrollar, mejorar o implementar un esquema que permita hacer el ajuste de una protección partiendo de variables del sistema o estímulos a nivel software.

Contribuir al estudio de protecciones adaptativas mediante un caso de estudio que implementa RT-HIL.

2.3 Alcance y productos finales

- Ejercer acciones de control realimentadas sobre un elemento eléctrico físico.
- Definir un sistema de prueba tanto a nivel software como hardware.
- Representación RT del caso de estudio.
- Implementación HIL del caso de estudio.
- Validación del sistema de prueba.

3 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La implementación HIL se ha convertido en el paso intermedio entre la simulación y la implementación final, pues como ya se mencionó anteriormente implica una reducción en costos significativos, sin embargo, para que esta implementación sea relevante y útil en el desarrollo de productos y/o sistemas, es necesario utilizarla en conjunto con la simulación en tiempo real.

Con respecto a la operación de HIL se tiene como ejemplo principal [2] pues es la industria que en este momento se encuentra desarrollando de manera masiva este tipo de sistemas.

En [1] se muestra como la simulación RT y el uso HIL acompañado de elementos de costos menores pueden reducir el coste de prototipado de sistemas.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Simulación Real Time y HIL

Las aplicaciones de Hardware-in-the-Loop (HIL) son utilizadas por ingenieros y diseñadores para evaluar, probar y desarrollar nuevos sistemas. Esta estrategia de trabajo contribuye al desarrollo ya que evita simular todos los elementos del sistema y por el contrario permite interactuar con partes del sistema sin la necesidad de disponer en la totalidad del mismo implementado físicamente.

De esta forma se puede disponer de respuestas del sistema más cercanas a la realidad, mientras gran parte del mismo se encuentra en modelos computacionales y el dispositivo bajo prueba interactuar con estos modelos.[1]

Las simulación HIL es una forma de simulación real time, ya que esta cumple con los mismo parámetros de RT, sin embargo esta difiere de la simulación RT pura debido a que en el lazo de desarrollo de la simulación entra a jugar variables generadas por elementos físico.

El esquema que representa la idea de simulación RT-HIL puede apreciarse en la Figura 1, que aplicado a para este proyecto corresponde a un conjunto de unidades relés y un sistema de distribución sobre el cual operan los relés.



Figura 1 Esquema de simulación RT-HIL

4.2 Consideraciones y Restricciones

Dado que la etapa de comunicación óptima se encuentra fuera del alcance de este proyecto se asume que la comunicación a través de Ethernet y un protocolo TCP/IP es adecuado para realizar la transferencia de datos de configuración de los relés.

El sistema sobre el cual se hará la prueba será una sección del IEEE 13 nodos (Figura 2) [7], totalmente balanceado, ya que esto hace parte de una de las limitaciones del programa utilizado para el desarrollo del proyecto mostrado en [9]. También cabe resaltar que las consideraciones y restricciones de [9] también deben ser tomadas en cuentas.

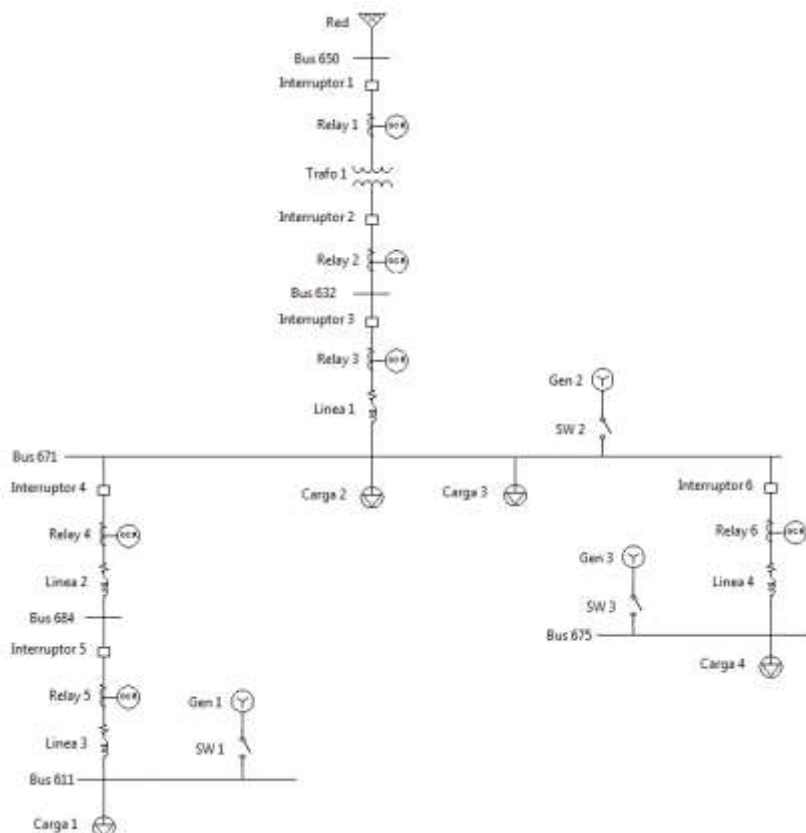


Figura 2 Sección del sistema IEEE 13 nodos bajo estudio

5 TRABAJO REALIZADO

El desarrollo de este proyecto ha llevado a disponer de una metodología adicional a la tradicional para realizar la validación de la coordinación de protecciones de sobrecorriente de fase de una forma automatizada; esto ha sido posible al utilizar herramientas de prototipado tipo industrial como lo es el hardware compactRIO de National Instruments, y las facilidades que ofrece tanto su interfaz software y sus periféricos hardware.

5.1 Descripción del Resultado Final

Como se menciona más detalladamente en [9], se corroboró que el algoritmo fuera válido para el caso de estudio que se muestra también en este documento.

El propósito de este proyecto era realizar la validación del mismo algoritmo una etapa más allá del alcance del proyecto descrito en [9] y para esto fue necesario emplear dos cRIO, la primera encargada de ejecutar el algoritmo y la segunda tenía asignada la tarea de emular los disparos de los relés, los cuales serían interpretados por los interruptores computacionalmente en la primera tarjeta.

El proyecto desarrollado, permite ver la secuencia de disparos de todas las unidades involucrada al momento de ocurrir una falla simétrica en el sistema, lo cual resulta valioso en materia de confiabilidad y seguridad del sistema, ya que esto permite determinar hasta qué punto puede ser robusta la protección del sistema de potencia.

5.2 Trabajo computacional

El trabajo computacional tuvo 3 partes que influyeron de manera significativa en el desarrollo del algoritmo, las aproximaciones tomadas en cuenta, la adecuación del algoritmo para RT-HIL, desarrollo del modelo de disparos de los OCDs y la comunicación entre ambas tarjetas. Esta última será tratada más adelante.

La implementación se llevó a cabo mediante el uso del software LabVIEW 2011® de National Instrument. La primera de las tres partes esenciales del programa se desarrolló mediante el uso de una arquitectura de máquina de estados (Figura 3) y la disposición de núcleos corriendo en paralelo para así sacar el máximo provecho de la capacidad computacional del hardware. En esta etapa se habilitó la adquisición de señales exteriores a través de la FPGA (Figura 4).

Esta implementación en máquina de estados tiene un buen desempeño, ya que el tiempo de cálculo, transmisión, configuración y recepción de datos para cualquier modificación en el estado del sistema de potencia toma un tiempo aproximadamente entre 0.9s y 1.4s tiempo que puede ser mejorado una vez se implemente el esquema de comunicación apropiado y el sistema utilice las características ciento por ciento real time (esto implica eliminar del modo de operación el uso de sistemas embebido con interfaz gráfica, para así aprovechar al máximos las capacidades de procesamiento del hardware).

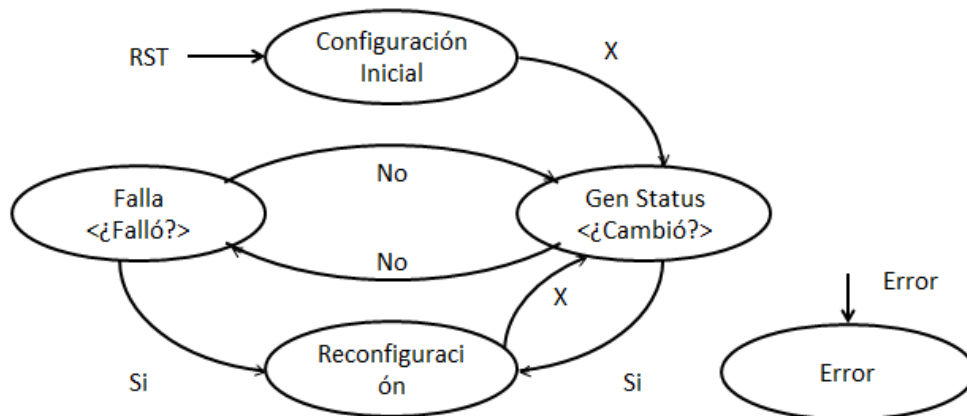


Figura 3 Maquina de estados del algoritmo representación conceptual.

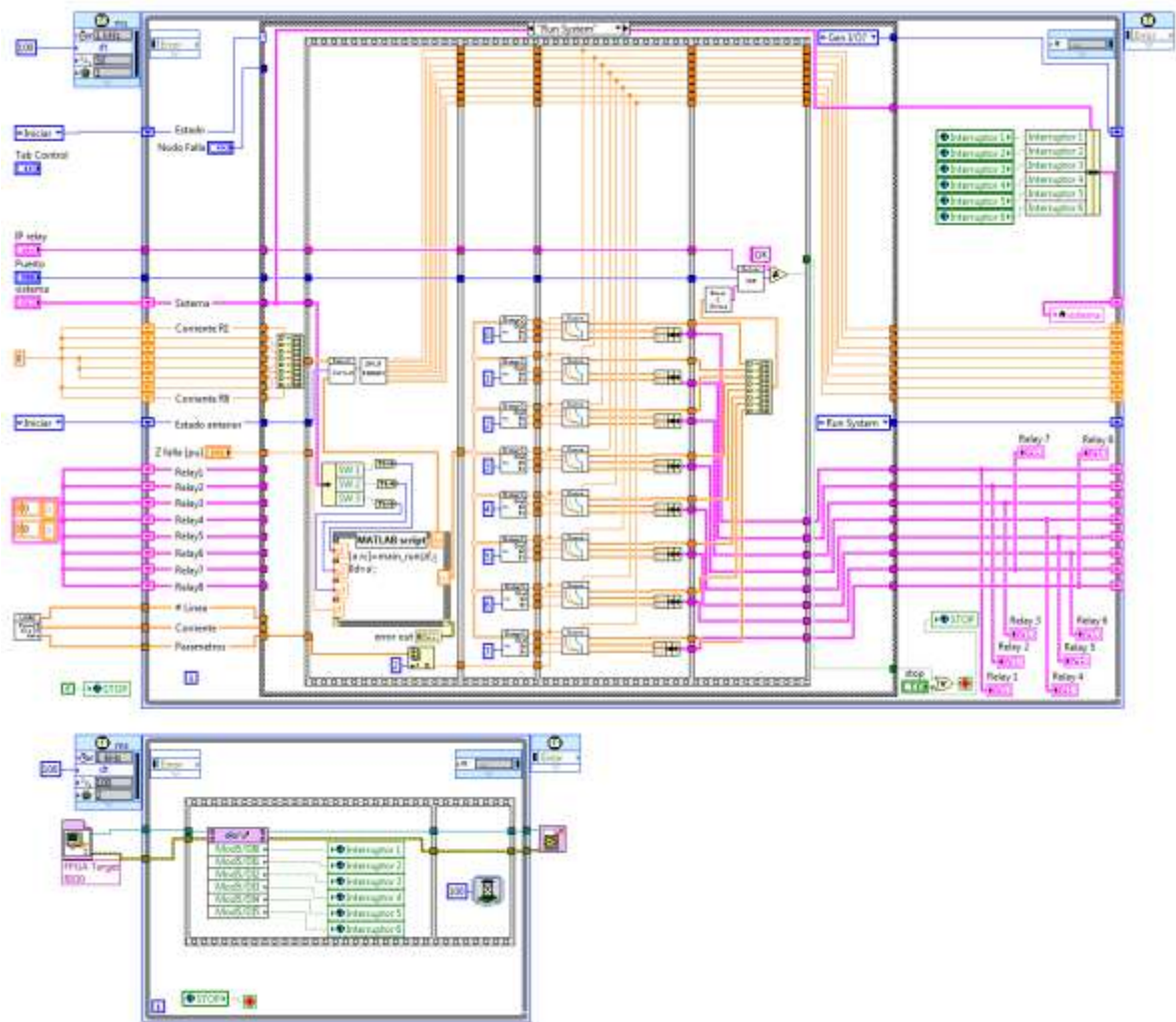


Figura 4 Maquina de estados del algoritmo representación en LabVIEW.

Implementación de protecciones adaptativas por medio de simulación RT-HIL 9

La segunda consistió en la implementación matemática de los tiempos de disparos de las unidades relé a partir de los datos de configuración que se enviaban al relé, lo que permitía ver de manera más acertada el funcionamiento de los diferentes tiempos de respuesta acorde con las configuraciones.

Finalmente se estableció una comunicación TCP/IP entre los dos equipos compactRIO (Figura 5) para realizar el intercambio de información de tiempos de respuesta, para este caso la unidad encargada de emular los tiempos de disparo de los OCD era el servidor (Figura 7), mientras que la unidad encargada de configurar estos disparos era el cliente (más adelante se explica la razón de esta asignación). El lazo de operación se cierra a través de las señales de disparo que envía el servidor a través de una salida digital de la FPGA, las cuales son capturadas e interpretadas por las entradas digitales de la FPGA de la cRIO contenedora del algoritmo (el cliente como se muestra en la Figura 6).

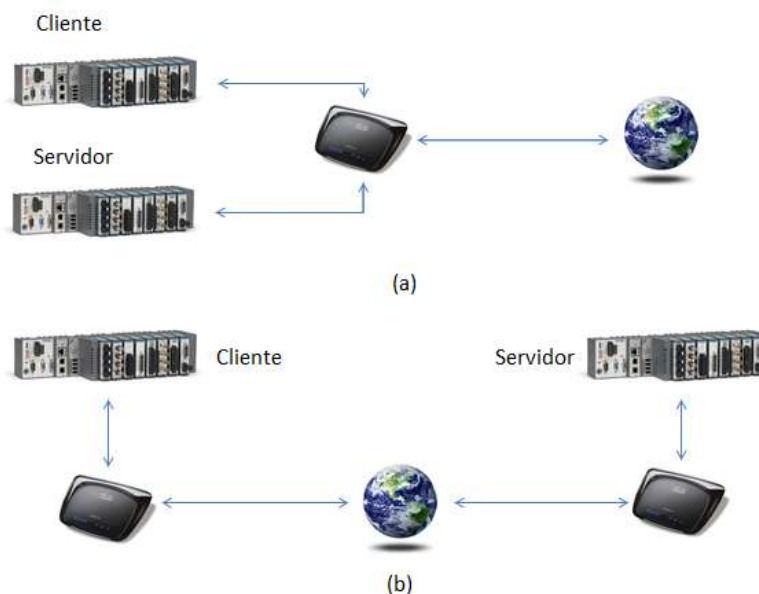


Figura 5 Esquema conceptual de comunicación entre las plataformas RT-HIL. (a) Conexión a través de una red de área local (LAN). (b) Conexión a través de una red área amplia.

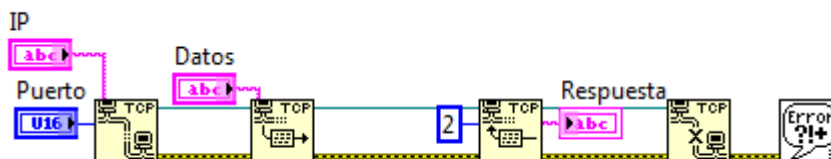


Figura 6 Código del cliente implementado en LabVIEW.

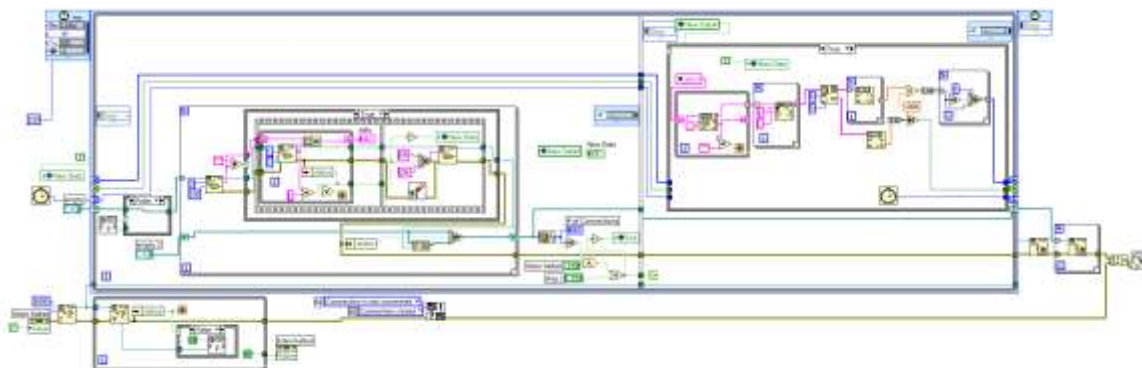


Figura 7 Código del servidor de acceso múltiple en LabVIEW.

El cliente utiliza unos identificadores, para saber que el mensaje que se envía ha terminado del mismo modo que recibe una respuesta de envío satisfactorio, mientras que el servidor procesa la información recibida responde al cliente al recibir un mensaje de forma adecuada e interactúa con el cliente a través de las dos FPGAs. El motivo por el cual la unidad que emula los disparos tiene la propiedad de servidor y no de cliente es el hecho de poder acceder a este desde múltiples plataformas y en caso de contingencia del algoritmo se pueda seguir controlando manualmente desde otra estación la configuración de los OCDs.

En la Figura 8 se muestra el resultado final del programa computacional que se desarrolló para realizar el estudio de protecciones adaptativas en sistemas de distribución a través de simulación real time. La puesta en marcha del mismo se explica en el apéndice

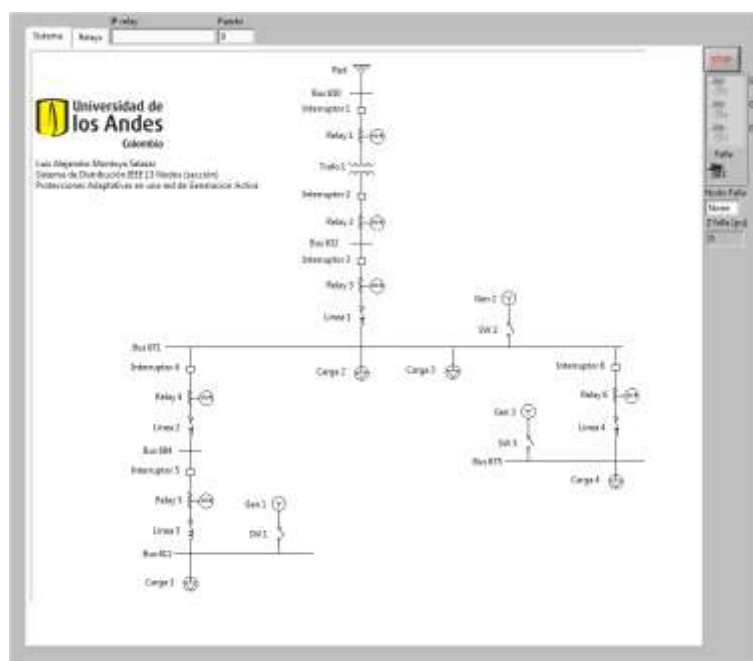


Figura 8 Programa realizado en NI LabVIEW.

6 VALIDACIÓN DEL TRABAJO

6.1 Metodología de prueba

Las pruebas de validación del algoritmo se explican en [9]. Sin embargo la prueba del módulo de comunicaciones se hizo con mediante la sincronización de las dos cRIOs a través del reloj que se tenía en una de las tarjetas de desarrollo.

Sin embargo, dada la dependencia entre los módulos desarrollados, no es posible realizar pruebas independientes que validen el funcionamiento modularmente, es por esto que es necesario probar el trabajo desarrollado como un solo elemento, y de haber dificultades con la comunicación realizar una validación en la ip del servido y el puerto para la conexión.

6.2 Validación de los resultados del trabajo

La validación del funcionamiento del algoritmo se encuentra en detallada en [9]. Sin embargo la validación del funcionamiento se evidencia en el video anexo a este video. Como ya se mencionó previamente, el algoritmo se ejecuta en un equipo RT con Windows 7 embebido (Figura 9 sección roja), mientras que la emulación de las repuestas de las unidades 50 y 51 se ejecuta a través de otro equipo similar (Figura 9 sección amarilla) el cual cuenta con LabVIEW RT 11.0. Ambas se comunica por LAN haciendo uso de un router (Figura 9 sección verde); y las respuestas y estímulos para hacer el cambio de estado del sistema pueden ser visualizadas a través de un mouse, un monitor y un teclado (Figura 9 sección azul).

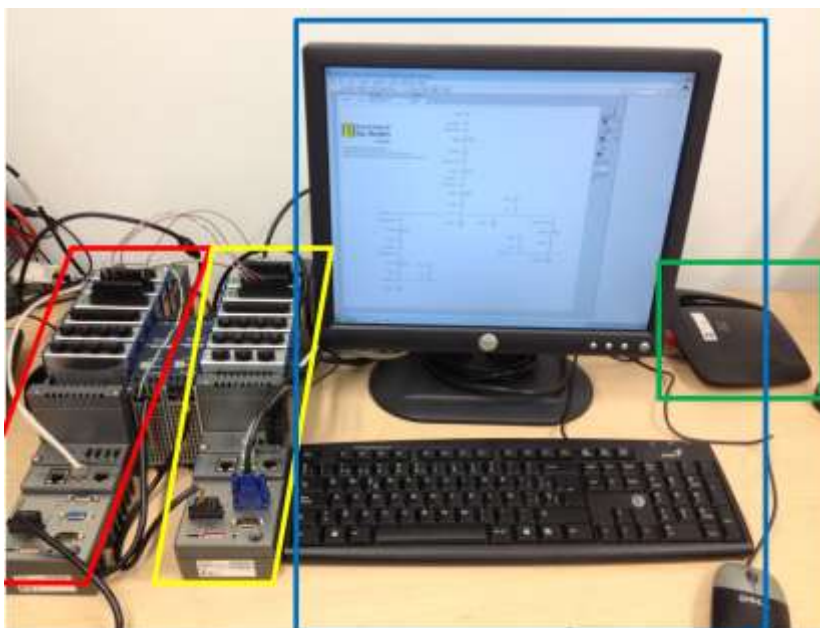


Figura 9 Montaje simulacion RT-HIL a traves de una red de area local (LAN)

7 DISCUSIÓN

El presente proyecto presenta una forma de validar un esquema de protecciones adaptativas sin necesidad de incurrir en elementos costosos como los son relés, CTs y más importante, un sistema de distribución para evaluar desempeño, sin embargo queda como trabajo futuro realizar un ejecutable que permita crear el sistema que se desee probar de forma más efectiva y menos engorrosa.

Adicionalmente el desempeño del esquema de desarrollo permite evidenciar que en la medida que se disponen de elementos adecuados los tiempos de respuesta pueden ser mejorados de forma significativa, esto implica que el empleo de sistemas de comunicaciones mejores como una red que pueda utilizar Gigabit Ethernet, el uso de sistemas embebidos carentes de interfaz gráfica y el uso de un equipo comercial para hacer HIL puede representar en una mejora en los tiempos de cómputo de la solución del estado. Esto se menciona sin dejar de lado que los tiempos de respuesta del sistema son significativamente buenos.

El trabajo a desarrollar en un futuro corresponde a aquellos aspectos que contribuyen al mejoramiento de los tiempos de respuesta del sistema (como los mencionados anteriormente), además del mejoramiento del software en la búsqueda del desarrollo de una aplicación más generalizada que permita una flexibilidad mayor en la configuración.

Si bien es cierto que la familiarización con los equipos que permiten el desarrollo RT-HIL, no es del todo intuitivo, es importante resaltar que hace parte de un conjunto de herramientas de ingeniería que brinda un criterio de soporte a las variables de diseño, permitiendo resolver problemas de forma acertada.

8 CONCLUSIONES

A través del trabajo presentado se ofrece otra alternativa al momento de realizar la validación de protecciones adaptativas ya que su validación no se hace offline como suele hacerse en la mayoría de los casos, sino que se propone realizar una validación en tiempo real a través de una realimentación hardware (HIL) por medio de dos equipos de prototipado industrial como lo es la compact RIO.

Si bien es cierto que el costo que implica contar con los equipos adecuados para realizar validaciones RT-HIL es alto, este se puede ver desde dos perspectivas: primera, el costo y tiempo que implica hacer pruebas RT-HIL siempre será más reducido que aquel en el que se incurre al disponer de todos los elementos físicos y realizar pruebas con los mismos; segundo, dado que se trata de plataformas altamente flexibles para el desarrollo de aplicaciones, es posible utilizarlas en otros proyectos de requerimientos similares, lo que convierte a este costo de desarrollo en un costo diluible.

El protocolo de comunicaciones implementado con un servidor de acceso múltiple, da la flexibilidad al cliente (humano) de modificar los parámetros configurados por el cliente (algoritmo) lo que permite tener un control de respaldo frente a la posible existencia de una configuración errada (sea causada por comunicación, defecto del algoritmo o contingencia/mantenimiento del cliente algoritmo).

Aunque el esquema de comunicación presenta una buena robustez en la medida que diversos clientes pueden modificar los parámetros, se requiere de un esfuerzo significativo, para dar confiabilidad al servidor que atiende las configuraciones de los clientes.

La plataforma utilizada para desarrollar el esquema de validación RT-HIL facilita en gran medida la instrumentación de las señales debido a la gran flexibilidad que posee, ya que permite acondicionar las señales para hacer uso de las velocidades que ofrece una arquitectura basada en FPGA. Esta hizo posible la emulación de los disparos de las unidades 50 y 51 y la interpretación de estos en cada uno de los equipos que se utilizó.

9 AGRADECIMIENTOS

Agradezco ante todo a Dios por haberme dado la salud y oportunidad de poder cursar esta carrera de la forma más satisfactoria posible. También agradezco a mis hermanos, por brindarme un apoyo excepcional a lo largo de toda la carrera, en especial a mis padres, Luis Alfonso Montoya y Gloria Patricia Salazar, por la paciencia y dedicación que tuvieron conmigo.

En el ámbito académico agradezco a todos mis amigos y compañeros que me acompañaron a lo largo de este proceso como Diana Pardo, Sergio Bacca y Juan Felipe Restrepo, así como también resalto el apoyo desinteresado brindado en algunos inconvenientes de este proyecto del Profesor Gustavo Andrés Ramos, Davis Montenegro y Oscar Gómez Carmona.

10 REFERENCIAS

- [1] McNeal, R.; Belkhat, M.; "Standard Tools for Hardware-in-the-Loop (HIL) Modeling and Simulation," Electric Ship Technologies Symposium, 2007. ESTS '07. IEEE , pp.130-137, 21-23 Mayo 2007
- [2] Mechanical Simulation (2012). *Real-Time RT Testing*. [En Línea] Disponible: <http://www.carsim.com/products/realtime/index.php>
- [3] S. ARSLAN; "Zbus Building Algorithm", Noviembre 15 de 2009. [En Línea] Disponible: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/25846-zbus-building-algorithm>
- [4] W. STEVENSON, J GRAINER, "Análisis de Sistemas de Potencia", McGraw-Hill, México, 1996, pp. 131-158

- [5] "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems," IEEE Std 242-2001 (Revision of IEEE Std 242-1986) [IEEE Buff Book], pp. 580 – 635
- [6] J. ZAPATA, "Protección de Sistemas de Transmisión y Distribución de Electricidad", Universidad de los Andes, 2009, pp. 60.
- [7] IEEE PES (2012). "Distribution Test Feeders", [En Línea]. Disponible: www.ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/index.html
- [8] National Electric Code, "NFPA70 ", NEC2011, 2011, Artículo 430.
- [9] A. MONTOYA, "Validación de protecciones adaptativas por medio de simulación en tiempo real", Proyecto de Grado Ingeniería Eléctrica, Universidad de los Andes, 2012
- [10] General Electric (2012), "L90" [En Línea]. Disponible: <http://www.gedigitalenergy.com/multilin/catalog/l90.htm>
- [11] Soares, A.H.M.; Vieira, J.C.M.; , "Case study: Adaptive overcurrent protection scheme applied to an industrial plant with cogeneration units," Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008. T&D. IEEE/PES , vol., no., pp.1-5, 21-24 April 2008
- [12] Zhongwei Li; Weiming Tong; Fengge Li; Shenghu Feng; , "Study on Adaptive Protection System of Power Supply and Distribution Line," Power System Technology, 2006. PowerCon 2006. International Conference on , vol., no., pp.1-6, 22-26 Oct. 2006
- [13] Jing Ma; Chao Mi; Tong Wang; Jie Wu; Zengping Wang; , "An adaptive protection scheme for distributed systems with distributed generation," Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE , vol., no., pp.1-6, 24-29 July 2011
- [14] Brahma, S.M.; Girgis, A.A.; , "Development of adaptive protection scheme for distribution systems with high penetration of distributed generation," Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.19, no.1, pp. 56- 63, Jan. 2004
- [15] Casto, Andres F.; Protecciones Eléctricas de sobre corriente adaptativas para sistemas de distribución con generación distribuida. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Los Andes.
- [16] Suárez C., Sergio M.; Impacto de las protecciones eléctricas en las redes de media tensión con generación distribuida. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Los Andes.
- [17] D. MONTENEGRO, "Desarrollo de herramienta computacional para diagnóstico y caracterización de condiciones de calidad de potencia eléctrica." Proyecto de Grado Maestría, Universidad de los Andes.

11 APENDICES

- A. Para instalar el programa desarrollado en este proyecto de grado debe descomprimir los archivos contenidos en la carpeta MATLAB.zip y copiarlos en la ruta C:\...\MATLAB\R2011a
- B. En el archivo sistema2.m debe definir el sistema de distribución al cual desea aplicar el esquema de protección adaptativa.
- C. Si desea cambiar los parámetros de diseño debe modificar la variable Configuracion.mat de la siguiente forma:
 - a. Configuracion.Aol= (El primer dígito define el tipo de norma, 1x=Ansi, 2x=IEC. el segundo dígito especifica el tipo de curva a utilizar: (1)Tiempo inverso estandar, (2)Muy inversa, (3)Extremadamente inversa, (4)Tiempo inverso Largo)
 - b. Configuracion.k1=(factor de dimensionamiento de la corriente de la unidad 50)
 - c. Configuracion.k2=(factor de dimensionamiento de la corriente de la unidad 51)
 - d. Configuracion.stepDial=(define los pasos con los que se ajusta el DIAL)
 - e. Configuracion.stepInst=(define los pasos con los que se ajusta la unidad 50)
 - f. Configuracion.stepxIn=(define los pasos con los que se ajusta la unidad 51)
 - g. Configuracion.tmargen=(define el tiempo margen de configuración de los relays temporizados)
- D. Guarde la estructura creada en el paso C como Configuracion.m en la ruta C:\...\MATLAB\R2011a
- E. En el archivo main_run.m y main_run2.m, en la sección %% Inserción Generadores agregue la línea <<PV.store(x,11)=gx;>> tantas veces como generadores haya definido en el punto B. los signos << >> son para indicar la línea de código y por lo tanto no se ponen la x hace referencia al generador x-esimo. Esto implica que si se definen 5 generadores debe copiarse esta línea 5 veces variando x desde 1 hasta 5.
- F. En el archivo main_run.m y main_run2.m, en la sección %% Configuración Relays agregue la línea <<rc1=relayconf(k1,k2,C(x,1),C(x,2),Aol,tmargen,t,cts(1,1),cts(1,2),stepInst,stepxIn,stepDial); >> tantas veces como relés haya definido, donde x empieza en 1 y termina en el número de relés que se desea poner.
- G. En el archivo instrumentos defina los CTs especificando primero el valor de la corriente bobinado primario seguido del secundario (e.g 500 5), separados por un espacio entre ellos. Importante: Recuerde definir un CT por cada línea.

- H. En la tras antepenúltima línea <<rc=[rc1;rc2;rc3;rc4;rc5;...;rcx];>> agregue tantos rcx donde se encuentran los puntos suspensivos como relays tenga.
- I. Descomprima la carpeta LabVIEW.zip y modifique el archivo Parametros haciendo una matriz de mx3 donde m es el mayor entre número de CTs y 7. En la columna 1 va el valor del primario de los CTs, en la segunda columna el secundario de los CTs, y en la 3 columna los parámetros que se listan en C, los espacios que no se usa deben ser llenados con 0 y las columnas deben ir separadas por ; (punto y coma).
- J. Hasta este punto cuenta con un método de configuración adaptativa offline.
- K. A continuación se hace una documentación gráfica ya que la disposición del código depende de cada persona, por tal motivo se muestra cada uno de los estados que contiene la máquina de estados. No olvide ajustar cada uno de los parámetros del código, para que el número de nodos, así como el de relés sea el adecuado; adicionalmente se recomienda inicializar las variables de los registros de la máquina de estados.

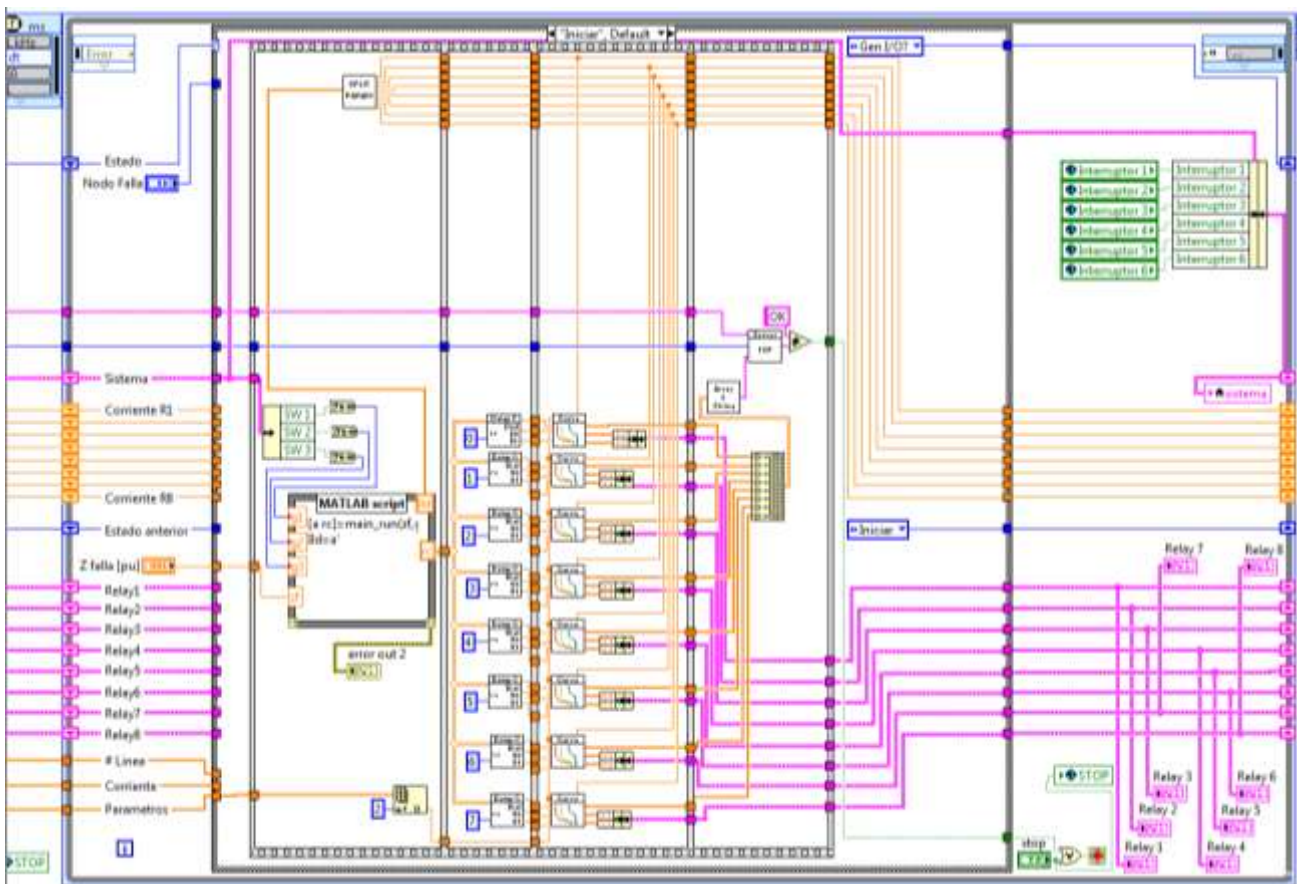


Ilustración 1 Estado Inicializar

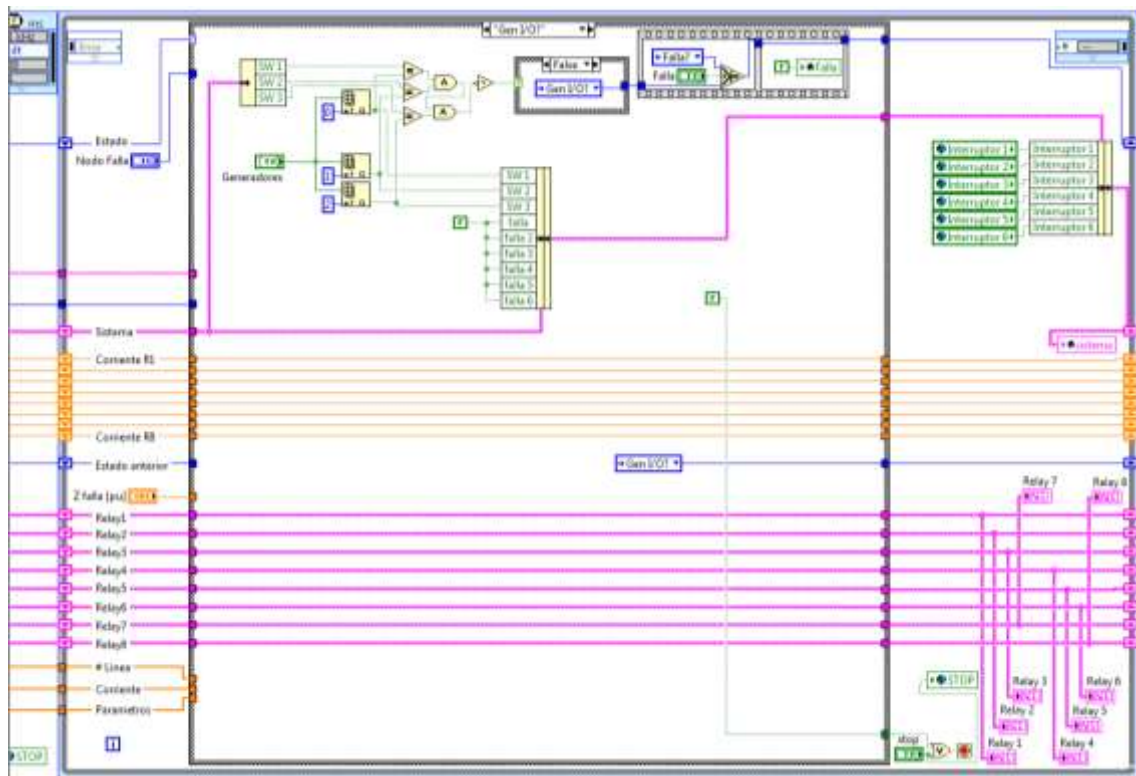


Ilustración 2 Estado Gen I/O

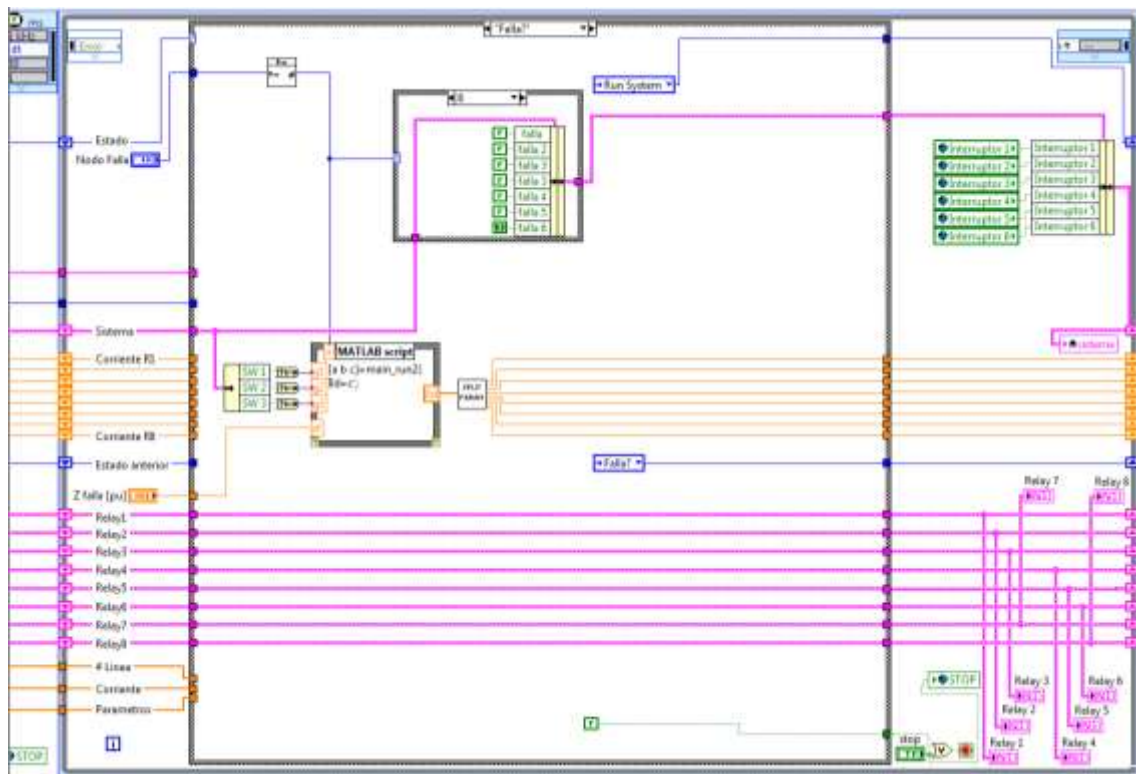


Ilustración 3 Estado Falla

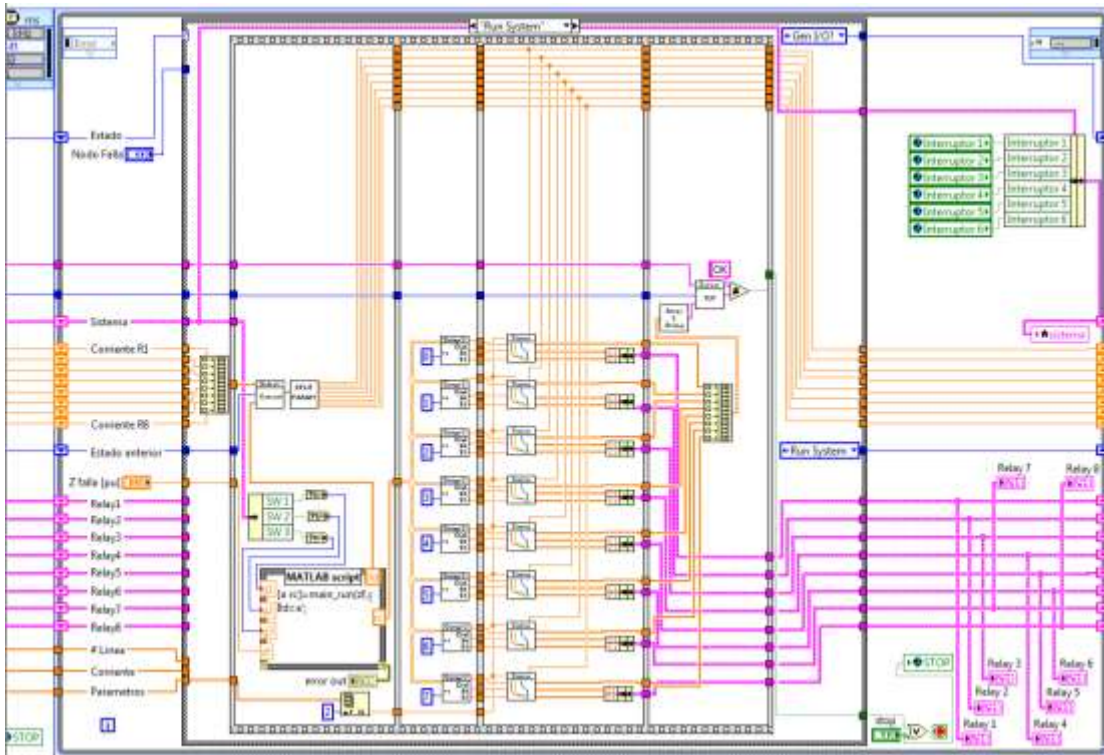


Ilustración 4 Estado Run System

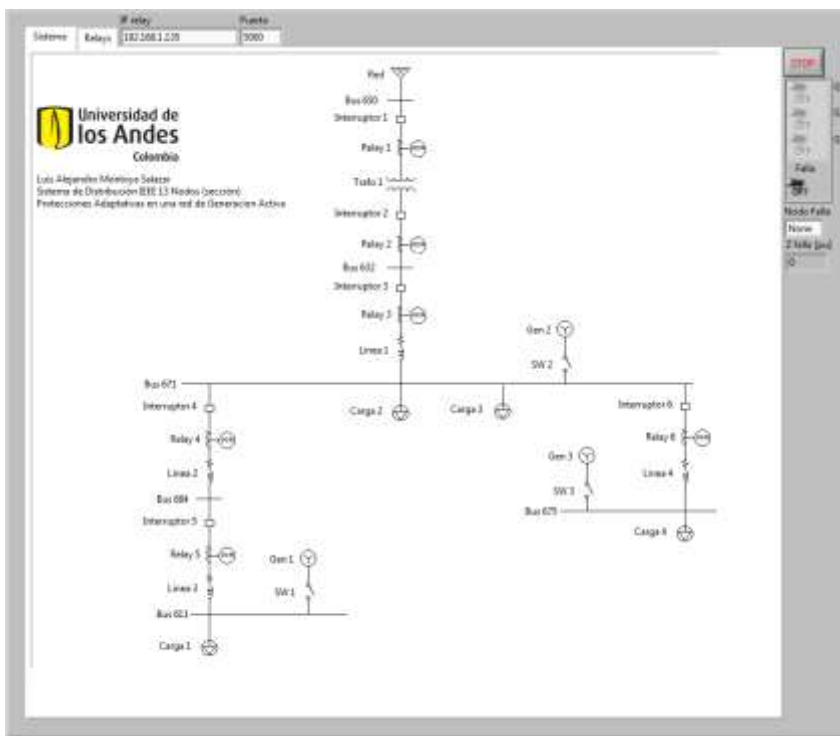


Ilustración 5 Pestaña Sistema de la interfaz gráfica

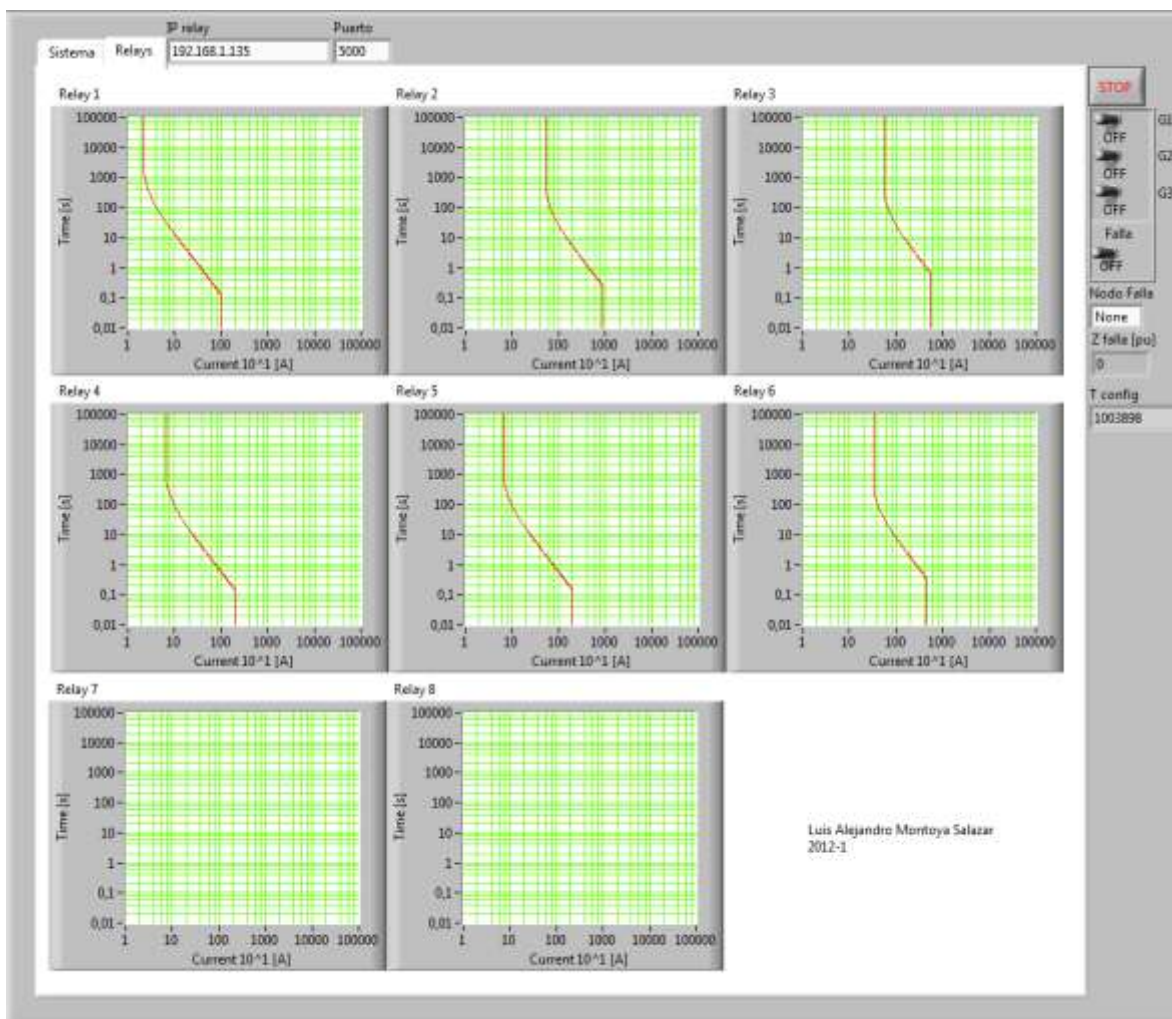


Ilustración 6 Pestaña Relay de la interfaz gráfica

- L. Si está trabajando en la versión RT ha terminado.
- M. Si está trabajando en la versión RT-HIL no olvide estar conectado a una red LAN o WAN y disponer de la IP del otro dispositivo, así como también de tener permisos para el manejo del puerto 5000.

Funcionamiento

Una vez tenga definido el sistema, dispondrá de unos interruptores que le permitirán conectar o desconectar los generadores, así como dos casillas una para indicar el valor de la impedancia de falla simétrica y otra para indicar el nodo en el que quiera tener la falla. Finalmente solo debe activar la casilla de falla para ver la secuencia de disparos que se genera. Adicionalmente, durante cualquier momento de la operación del sistema podrá cambiar por la pestaña de Relay, donde podrá visualizar la curva de configuración de cada uno de los relays.



**SISTEMA DE BIBLIOTECAS
IDENTIFICACIÓN TRABAJO DE GRADO**

FECHA DE ELABORACIÓN		
DD	MM	AAAA
07	06	2012

NIT: 860.007.386-1

1. IDENTIFICACIÓN AUTOR(ES) DEL TRABAJO DE GRADO

CÓDIGO	DOCUMENTO DE IDENTIDAD		APELLIDOS	NOMBRES	CORREO ELECTRÓNICO
	TIPO	NÚMERO			
200812720	CC :	1032430847	Montoya Salazar	Luis Alejandro	la.montoya463@uniandes.edu.co
	CC :				
	CC :				
	CC :				
	CC :				
	CC :				

PROGRAMA	Pregrado	:	ENTREGÓ FORMATO: <input checked="" type="checkbox"/> SB-10 "Entrega trabajo de grado y autorización de uso a favor de la Universidad de los Andes". Documento con el cual, el autor permite que su trabajo sea utilizado por la Universidad, para fines de consulta y de mención en sus catálogos bibliográficos, tanto físicos como en línea.
FACULTAD	Facultad de Ingeniería	:	
DEPARTAMENTO	Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica	:	

1.1 IDENTIFICACIÓN DE TRABAJO DE GRADO PARA DOBLE TITULACIÓN

PROGRAMA	No Aplica	:	TESIS PARA DOBLE TITULACIÓN: Si el trabajo de grado presentado aplica para obtener dos (2) titulaciones, por favor marque esta casilla y diligencie la información de esta sección.
FACULTAD	No Aplica	:	
DEPARTAMENTO	No Aplica	:	

2. INFORMACIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO:			FECHA DE ELABORACIÓN DD MM AAAA _____ 2012
Validación de protecciones adaptativas por medio de simulación en tiempo real			
DESCRIPCIÓN FÍSICA	MATERIAL ACOMPAÑANTE (Cantidad):		
Número de páginas: 26	Casetes Audio: _____	Discos compactos: _____	
Ilustraciones: 16	Casetes Video: _____	Diapositivas: _____	
	Disquetes: _____	Otros: ¿Cuáles? _____	

RESUMEN DEL TRABAJO DE GRADO:

En la actualidad el constante desarrollo y deseos por mejorar las fuentes de energías alternativas, ha impulsado el progreso e implementación de edificaciones de energía neta cero, de tal modo que se pueda decidir en qué momento es más conveniente (económica o condición operativa) tomar o inyectar energía a la red. A medida que este tipo de agentes se hacen partícipes del mercado energético, la red puede presentar diferentes estados de operación (tantos como dos elevado al número de generadores que pueden hacerse partícipes de la operación del sistema, 2[#] gener.) esto quiere decir que si se cuenta con tres generadores y la red siempre está en operación, el sistema tiene 8 posibles estados incluyendo el caso base. Es por esta razón que se hace necesario disponer de alguna medida que sea capaz de llevar a cabo la coordinación de las protecciones de manera automática, partiendo del estado de operación del sistema; esto con el fin de poder mantener la confiabilidad y seguridad del sistema.

OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO:

Evaluar y diseñar un esquema de coordinación de protección adaptativa para un sistema de distribución activa y validarlo en el sistema de prueba IEEE 13 nodos. Identificar los posibles modos de operación, definir la coordinación de protecciones que se ajuste a la condición. Adicionalmente se desea identificar el esquema, dispositivos y arreglo de dispositivos de protecciones que aseguran una coordinación adaptativa de sobrecorriente. Para posteriormente validar en un sistema de prueba la coordinación de protección adaptativa.

METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE GRADO:

CONCLUSIONES DEL TRABAJO DE GRADO:

A través del algoritmo desarrollado se presenta otra alternativa a la realización de protecciones adaptativas ya que su validación no se hace offline como suele hacerse en la mayoría de los casos sino que se propone realizar una validación en tiempo real a través de una plataforma hardware de prototipado industrial como lo es la compact RIO.
 El algoritmo desarrollado permite visualizar el desempeño del sistema de distribución en el ámbito de protecciones de sobrecorriente de fase a medida que se insertan o se extraen fuentes de generación.
 El correcto funcionamiento del algoritmo depende de la correcta descripción del sistema de distribución sobre el cual se desarrolla la prueba. Fue posible corroborar que las protecciones son reconfiguradas a medida que el sistema entra en diferentes estados de operación, así como también fue posible validar que la selectividad del sistema se realiza de forma satisfactoria.
 Fue posible notar que tanto el corrector funcionamiento del algoritmo, como la adecuación de los tiempos de respuesta apropiados tienen una dependencia importante del buen dimensionamiento de los CTs, para este caso fue necesario el dimensionamiento de las corrientes de carga aumentadas en un factor del 15% aunque para el caso del transformador, fue importante hacer un dimensionamiento mayor.
 El desarrollo de este proyecto permite evidenciar las facilidades de la simulación en tiempo real, ya dependiendo del grado de desarrollo de la herramienta, se puede analizar los tiempos de reacción y respuesta del sistema al generar cambios o estímulos que permiten hacer cambios de estados.

*PALABRAS CLAVES (TEMAS) DEL TRABAJO DE GRADO:

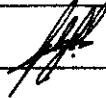
Simulación Real-Time, Algoritmo Coordinación Protecciones, Protecciones Adaptativas, CompactRIO

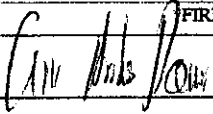
ACUERDOS DE CONFIDENCIALIDAD: NO TIENE ACUERDO(S) TIENE ACUERDO(S)

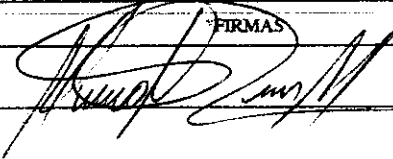
Si selecciona tener acuerdo de confidencialidad, por favor diligencie el siguiente cuadro:

Persona natural o jurídica	Desde			Hasta		
	DD	MM	AAAA	DD	MM	AAAA

3. FIRMAS

AUTORES (Nombre completo)	FIRMAS
Luis Alejandro Montoya Salazar	

DIRECTORES / ASESORES (Nombre completo)	FIRMAS
GUSTAVO ANDRÉS RAMOS LÓPEZ	

JURADO / LECTOR (Nombre completo)	FIRMAS
Mario A. Pires M	

Las firmas de Autor y Director/Asesor son obligatorias. Si tiene inconvenientes con el registro de la firma del Jurado/Lector, deberá tramitar ante la respectiva Facultad la autorización para registrar las firmas de pares o un sello que justifique la ausencia de la firma faltante.



ENTREGA EJEMPLAR TRABAJO DE GRADO Y AUTORIZACIÓN DE SU USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

Yo Luis Alejandro Montoya Salazar , mayor de edad, vecino de Bogotá D.C., identificado con la Cédula de Ciudadanía N° 1032430847 de Bogotá , actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de tesis, monografía o trabajo de grado denominado: Validación de protecciones adaptativas por medio de simulación en tiempo real

, hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos del ser el caso, en formato digital o electrónico (CD-ROM) y autorizo a LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento. PARÁGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, usos en red, internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y tiene la titularidad sobre la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Bogotá D.C., a los siete 7 días del mes de Junio de Dos Mil Doce 20 12 .

EL AUTOR - ESTUDIANTE.

(Firma) 

Nombre Luis Alejandro Montoya Salazar

C.C. N° 1032430847 de Bogotá

SB-10