



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -  
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

*Booklets*



**RENIECYT**  
Registro Nacional de Instituciones  
y Empresas Científicas y Tecnológicas

2015-20795

**CONACYT**

LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar  
DOI - REBID - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

**Title:** Sistema de medición de la calidad de suministro eléctrico para  
planta solar fotovoltaica

**Author:** José Antonio AQUINO ROBLES

**Editorial label ECORFAN:** 607-8324  
**BCIERMIMI Control Number:** 2017-02  
**BCIERMIMI Classification (2017):** 270917-0201

**Pages:** 30  
**Mail:** [jaquinor@gmail.com](mailto:jaquinor@gmail.com)  
**RNA:** 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**  
244 – 2 Itzopan Street  
La Florida, Ecatepec Municipality  
Mexico State, 55120 Zipcode  
Phone: +52 1 55 6159 2296  
Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
E-mail: [contacto@ecorfan.org](mailto:contacto@ecorfan.org)  
Facebook: ECORFAN-México S. C.

**Twitter:** @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**Holdings**

Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
<b>Peru</b>	<b>Spain</b>	<b>Cuba</b>	<b>Haití</b>
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			

# Introducción

La calidad del suministro eléctrico engloba a la **continuidad del servicio eléctrico, como la calidad del producto**, esto es la forma de la onda senoidal y la frecuencia.

Se analizarán, por tanto los siguientes problemas relacionados con la calidad del suministro eléctrico:

Figura 3. Interfaz gráfica para el análisis de convertidores DC/DC

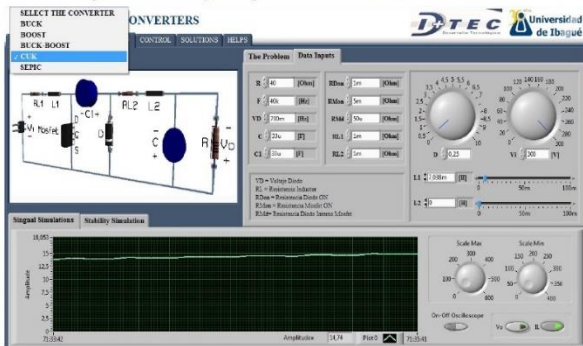


Figura 7. Fotografía de la herramienta didáctica junto con equipos de prueba

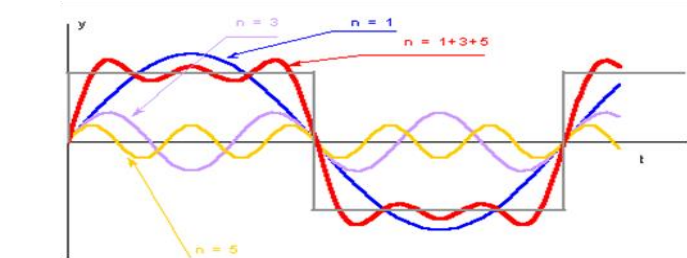


Metodología aplicada con base en la herramienta didáctica



1. Desbalance en la carga (conexión de diferentes niveles de cargas monofásicas en un inversor trifásico).
2. La cantidad de distorsión armónica que produce su funcionamiento.
3. La conexión de cargas no lineales monofásicas.
4. La conexión de cargas predominantemente inductivas
5. La conexión de cargas predominantemente capacitivas
6. Respuesta del inversor antes perturbaciones externas en la red como:
  - Depresiones de tensión
  - Variaciones lentas de tensión
  - Escalones de tensión que se presentan de forma irregular en el tiempo y cuya magnitud varía tanto en sentido positivo, como negativo
  - Cortes breves.

Existen analizadores de la calidad de la energía que monitorean las variables eléctricas para conocer si la inyección de energía a la red de distribución no compromete o degrada la seguridad de la misma, sin embargo, dichos dispositivos no presentan flexibilidad a cambios de hardware y software



A ese respecto el marco regulatorio de la compañía suministradora, necesita que un sistema interconectado a la red; trabaje con parámetros estables y rangos definidos, para no afectar el funcionamiento general del sistema eléctrico (CFE-G0100-04). Debido a esto, es necesaria la intervención de un sistema de monitoreo que permita conocer el correcto funcionamiento de los inversores y proporcionar información para un futuro análisis de la calidad del suministro.



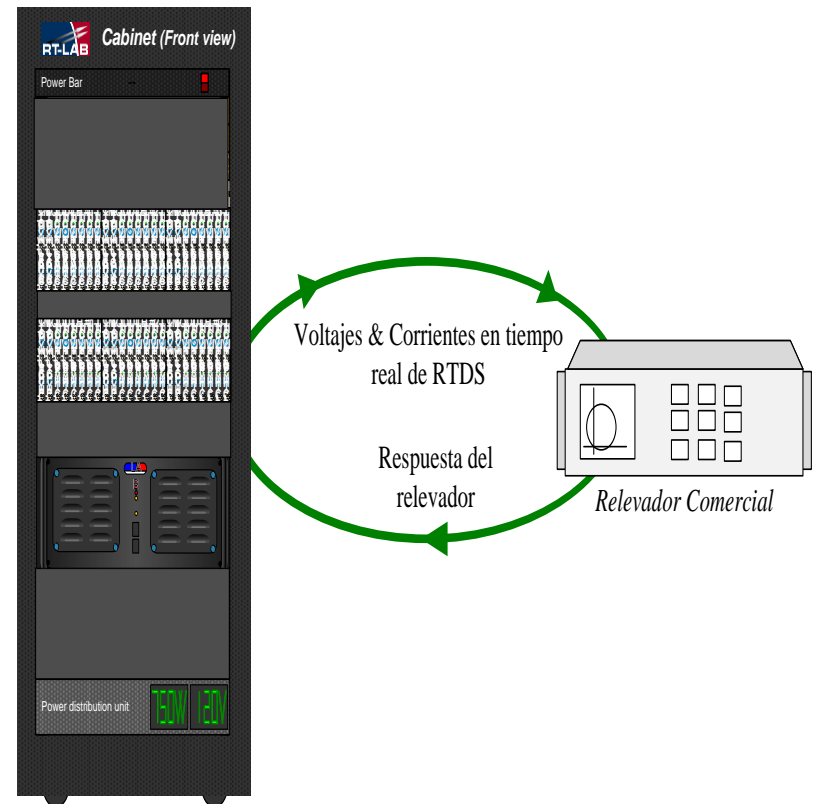
En la actualidad, es necesario contar con información en tiempo real del funcionamiento de la red eléctrica, así como el registro de datos para la toma de decisiones, permitiendo un rápido análisis o la detección previa; de problemas potenciales y la minimización del impacto de un fallo. La finalidad de este sistema es almacenar dicha información de manera oportuna, autónoma, y posteriormente visualizarla para efectuar un análisis y remediar el problema.



# Introducción

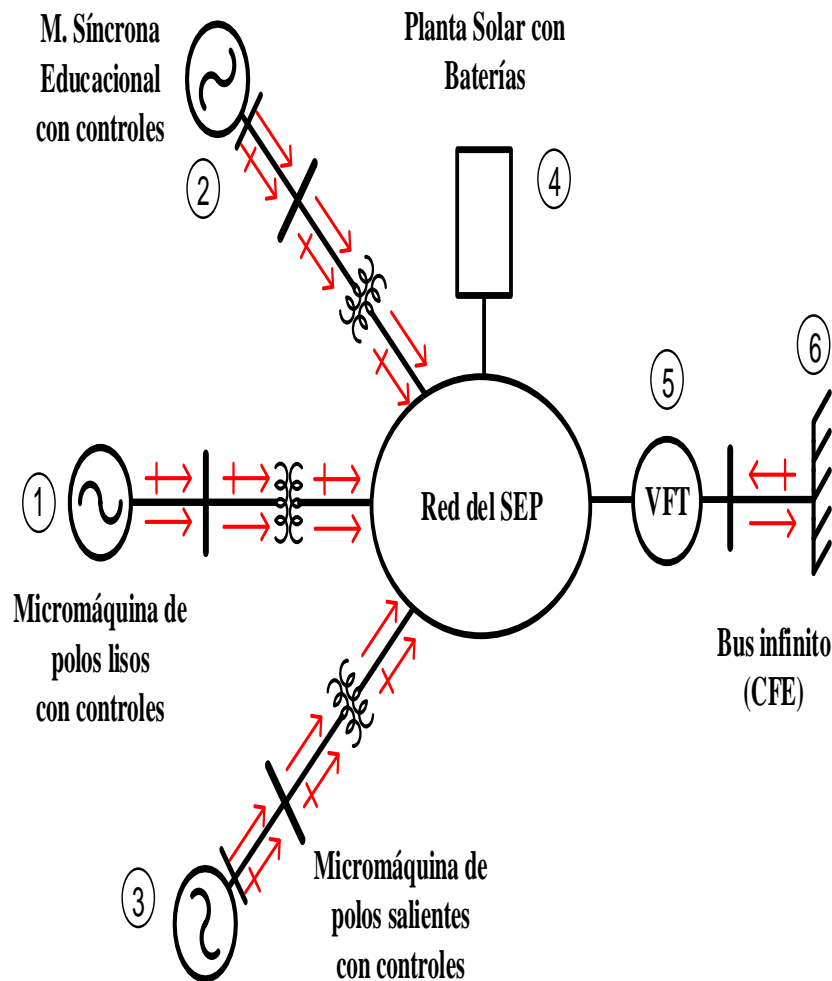
Los medidores de calidad de la energía que pueden llegar a cumplir con parte de los objetivos planteados, están diseñados para algunas aplicaciones en específico y mientras la demanda de energía se incrementa, los parámetros de calidad de la misma serán más estrictos, lo que implica el reemplazo del dispositivo por alguno más novedoso. Debido a lo anterior y a los gastos que esto podría conllevar, el uso de sistemas reprogramables como la NI CompactRIO muestra una de las grandes ventajas

*Simulador Digital en Tiempo Real*



# Introducción

Para interpretar los datos que lee este módulo, se ejecuta un instrumento virtual en el módulo *FPGA* integrado al chasis de la NI CompactRIO, que adquiere muestras a una frecuencia específica, la cual es calculada en base al teorema de Nyquist. Los datos adquiridos por medio del módulo *FPGA* son trasladados al controlador en tiempo real de la NI CompactRIO a través de un buffer de comunicación para su procesamiento. El resultado de ejecutar ambas tareas (adquisición y procesamiento) es la obtención de los parámetros:





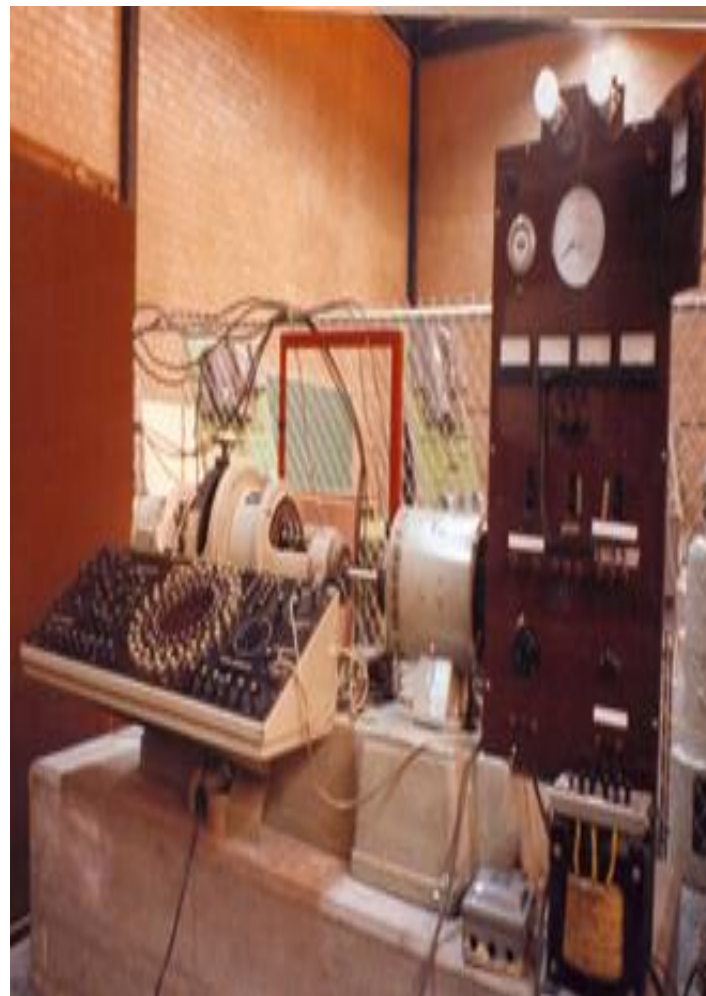
# Proceso de diseño

El sistema desarrollado es capaz de adquirir, analizar y proveer información de las señales de tensión e intensidad de salida de un inversor solar fotovoltaico. A través del módulo de entradas analógicas *NI 9205* conectado a la *NI CompactRIO*, se realiza la adquisición de las señales, sin embargo, estas deben ser acondicionadas empleando TPs y TCs para adquirirlas cumpliendo con los requerimientos del módulo *NI 9205*.



# Proceso de diseño

Para interpretar los datos que lee este módulo, se ejecuta un VI en el módulo *FPGA* integrado al chasis de la NI CompactRIO, que adquiere muestras a una frecuencia específica, la cual es calculada en base al teorema de Nyquist. Los datos adquiridos por medio del módulo *FPGA* son trasladados al controlador en tiempo real de la NI CompactRIO a través de un buffer de comunicación para su procesamiento. El resultado de ejecutar ambas tareas (adquisición y procesamiento) es la obtención de los parámetros:



- a) Fase de la señal de  $V$  e  $I$ .
- b) Frecuencia fundamental de la onda de  $V$  e  $I$ .
- c) Valor eficaz de las ondas de  $V$  e  $I$
- d) Distorsión armónica de las ondas de  $V$  e  $I$
- e) Potencia activa.
- f) Potencia reactiva.
- g) Factor de potencia.

Posteriormente, con base a la norma CFE-G0100-04, se identifica el momento en que los parámetros incumplen dicha norma y son almacenados en el disco duro de la NI CompactRIO.



Se realizó un algoritmo para la adquisición de V e I en el módulo *FPGA* y otro encargado del implementado en el módulo *Real-Time*; ambos algoritmos son dependientes uno del otro comunicándose a través de variables generadas en la *FPGA* y empleadas en *Real-Time*.

Con el fin de obtener 512 muestras ( $2^9$ ) de un ciclo de 60 Hz se calculó la frecuencia de muestreo a la que debe adquirir la NI CompaqRIO.



# Procesamiento de las señales de V e I

Para el cálculo de la frecuencia, amplitud y ángulo de fase de cada armónico se realizó mediante la (FFT) a las señales V e I muestreadas y arroja los vectores complejos que contienen el espectro de cada señal, del cual se obtienen los vectores de magnitud (vMagnitud) y de ángulo de fase (vFase)



# Implementación

La adquisición de las señales se realiza a través del módulo de la NI 9205 empotrado en el chasis de la NI CompactRIO. El sistema integrado NI CompaqRIO-9074 combina un controlador industrial en tiempo real y una *FPGA*, también cuenta con un chasis industrial para aplicaciones de control y monitoreo.

La NICompactRIO-9074, cuenta con las siguientes características:

- FPGA Spartan-3 2M
- Hasta 2M de compuertas
- 8 slots para módulos I/O
- Procesador de hasta 400 MHz en tiempo real
- Hasta 256 MB de memoria DRAM, 512 MB de almacenamiento no volátil
- 2 puertos Ethernet 10/100BASE-TX
- Puerto serial RS232
- Alimentación de 19 a 30 VDC



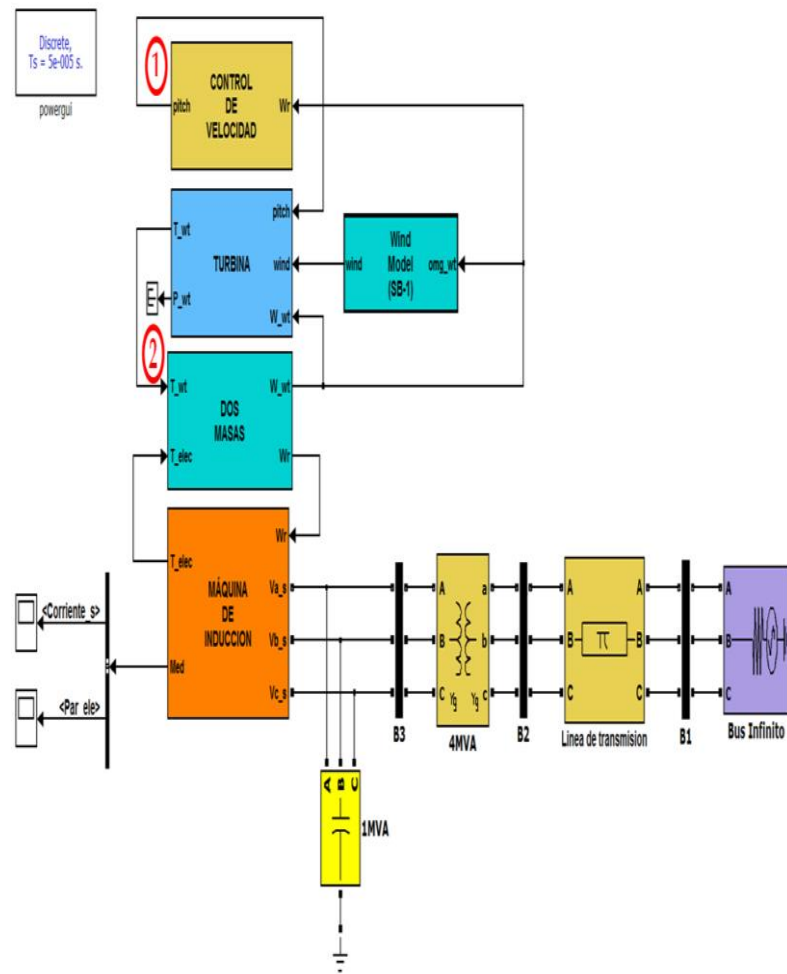
# Implementación

El *NI 9205* con opción D-Sub tiene un conector D-Sub estándar en la industria de 37 posiciones que brinda una opción de cableado de bajo costo a una variedad de accesorios de *NI* o de terceros. Algunos vendedores que ofrecen servicios de fabricación personalizada de cable D-Sub, pueden proporcionar cables con pin-out que satisfaga las necesidades de su aplicación. El *NI 9933* (u otro conector de D-Sub de 37 pines) se requiere para usarse con el *NI 9205*



# Implementación

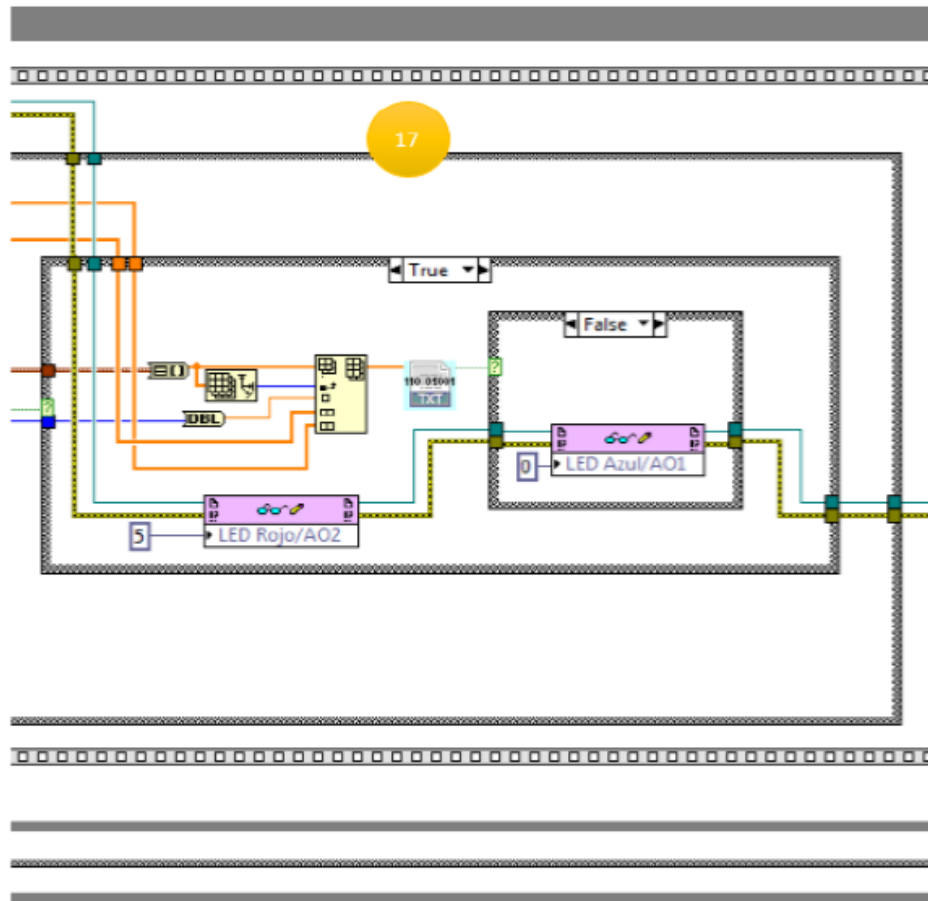
Los módulos *FPGA* y *Real-Time* son independientes, sin embargo, al estar integrados en un solo chasis (NI CompactRIO) permite que un instrumento virtual ejecutado en *Real-Time* lea el valor de un indicador o modifique el valor de un control que estén definidos en un instrumento virtual ejecutado en *FPGA*. Esta interacción es posible cuando el *VI* de *Real-Time* hace referencia al *VI* de *FPGA* mediante la herramienta “*Open FPGA VI Reference*” que *LabVIEW* proporciona





## Interfaz Gráfica para la extracción y visualización de información del disco duro de la NI CompactRIO

Cuando la NI CompactRIO se conecta a una PC mediante *Ethernet* el usuario puede extraer el archivo con extensión *.txt* del disco de la NI CompactRIO, el cual contiene la información de las mediciones realizadas, mediante la interfaz gráfica descrita a continuación el usuario podrá visualizar la información que contiene el archivo en un formato amigable y generar reportes de prueba editados en *Excel*



# Implementación

a) **INICIO:** Pantalla de bienvenida.

1. Menú de ventanas

2. Botones de Siguiente y Anterior

3. Botón Cerrar

b) **COPIAR CARPETA**

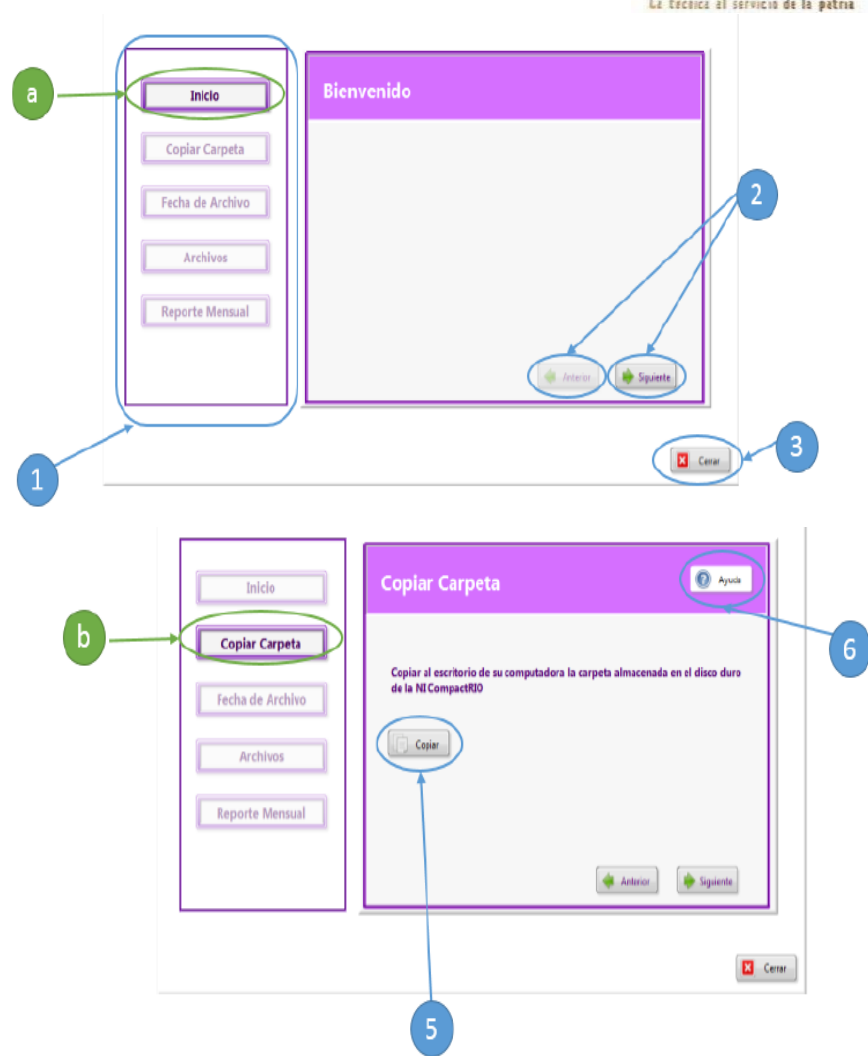
4. Botón Copiar:

5. Botón Ayuda

c) **FECHA DE ARCHIVO**

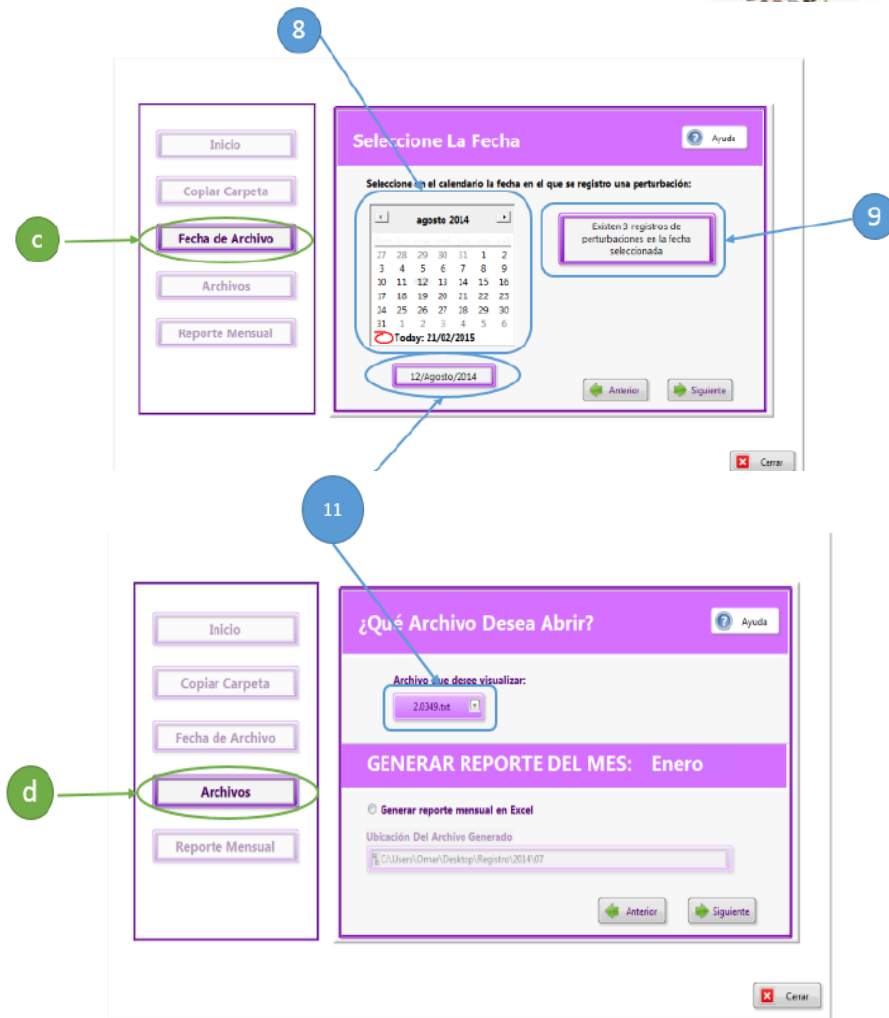
6. Calendario:

7. Indicador de Fecha



8. **Indicador:** Muestra si existen archivos guardados del día seleccionado y cuantos archivos hay. Si existen archivos el botón Siguiente se activará y podrá continuar con su ejecución, caso contrario se debe elegir una fecha diferente.

9. **Indicador:** En caso de que no existan archivos el día seleccionado, se mostrará que no hay y el botón Siguiente se bloquea hasta que el usuario cambie la fecha ver



The screenshot displays two sequential windows of a software application. The first window, titled 'Selección de la Fecha', features a sidebar with buttons: 'Inicio', 'Copiar Carpeta', 'Fecha de Archivo', 'Archivos', and 'Reporte Mensual'. The main area shows a calendar for 'agosto 2014' with the date '12/Agosto/2014' selected. A callout '8' points to the date selection area, and callout 'c' points to the 'Fecha de Archivo' button. A message box indicates 'Existen 3 registros de perturbaciones en la fecha seleccionada'. The second window, titled '¿Qué Archivo Desea Abrir?', has the same sidebar. The 'Archivos' button is highlighted with callout 'd'. The main area shows a file '2.0349.bt' selected and a section for 'GENERAR REPORTE DEL MES: Enero'. Callout '11' points to the file selection area. Callout '9' points to the message box in the first window. A 'Cerrar' button is visible in the bottom right of both windows.

## d) ARCHIVOS

10. Archivo que desee visualizar

11 Norma. Los parámetros eléctricos deben encontrarse de acuerdo a la norma CFE-G0100-04.

12 Alarma: Parpadea en caso que los parámetros eléctricos estén fuera de rango.

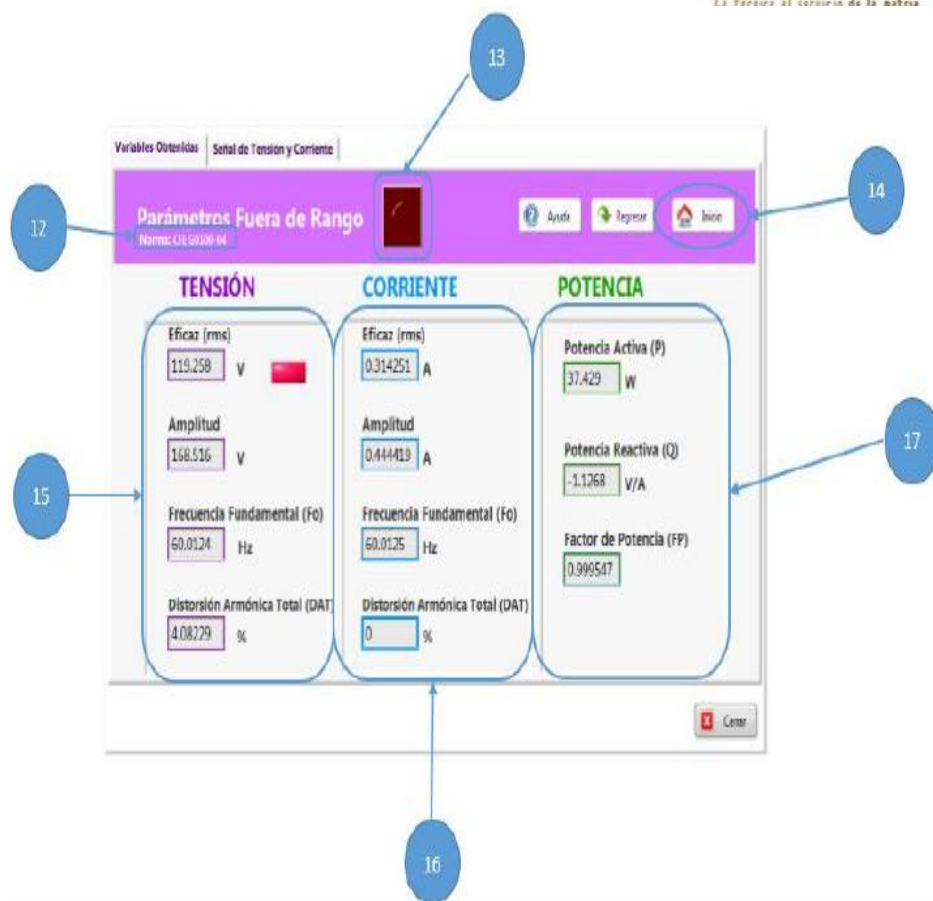
13. Botón Inicio. Se muestran los parámetros relacionados con la tensión: tensión eficaz, amplitud etc.



14. Parámetros de Tensión:, frecuencia fundamental y distorsión armónica total. En caso de que alguno de los parámetros se encuentre fuera de rango, se mostrará un indicador de color rojo.

15. Parámetros de Corriente:

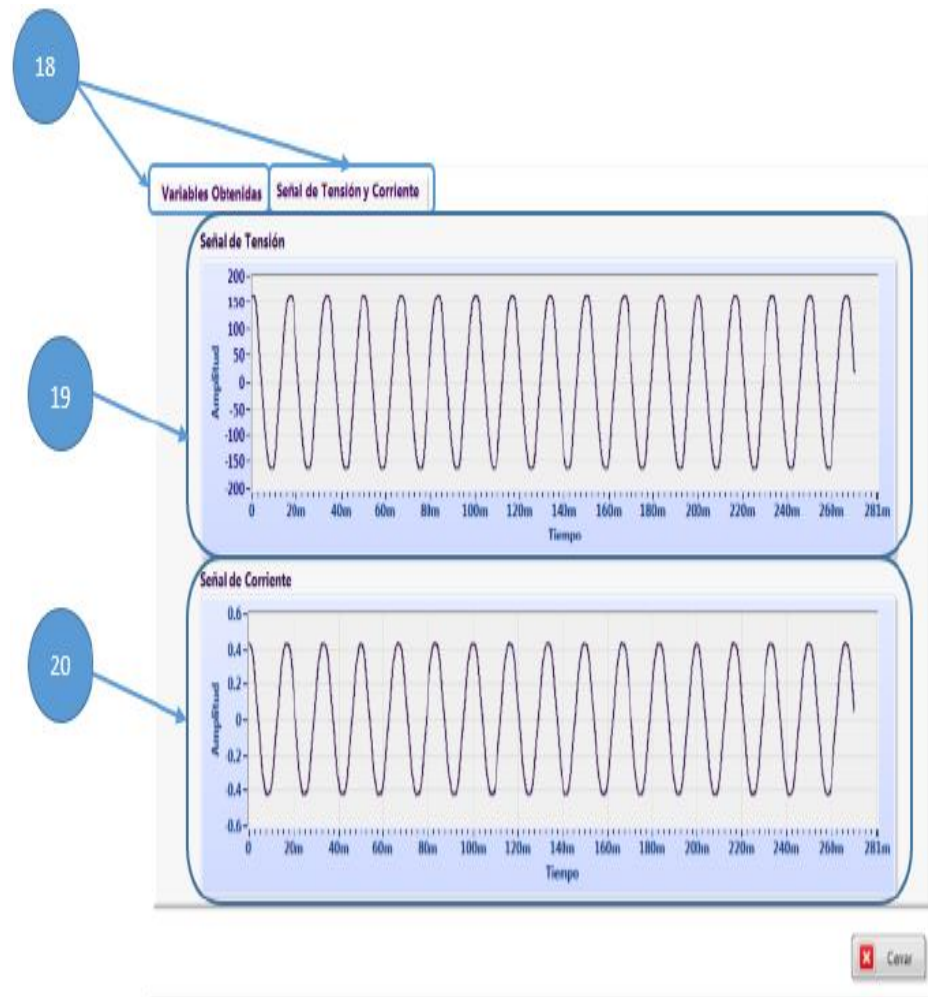
16. Parámetros de Potencia: potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia.



18. **Pestañas.** Se proporciona la opción de cambiar entre ver los parámetros eléctricos y observar la señal.

19. **Gráfico de la Señal de Tensión:** se obtuvo desde el inversor, el eje horizontal indica el tiempo que duro la adquisición

20. **Gráfico de la Señal de Corriente:** muestra la señal de corriente que se obtuvo desde el inversor.



21. **Selector:** Indica si se desea generar un reporte mensual

22. **Directorio:** Señala la dirección donde se creará el reporte mensual

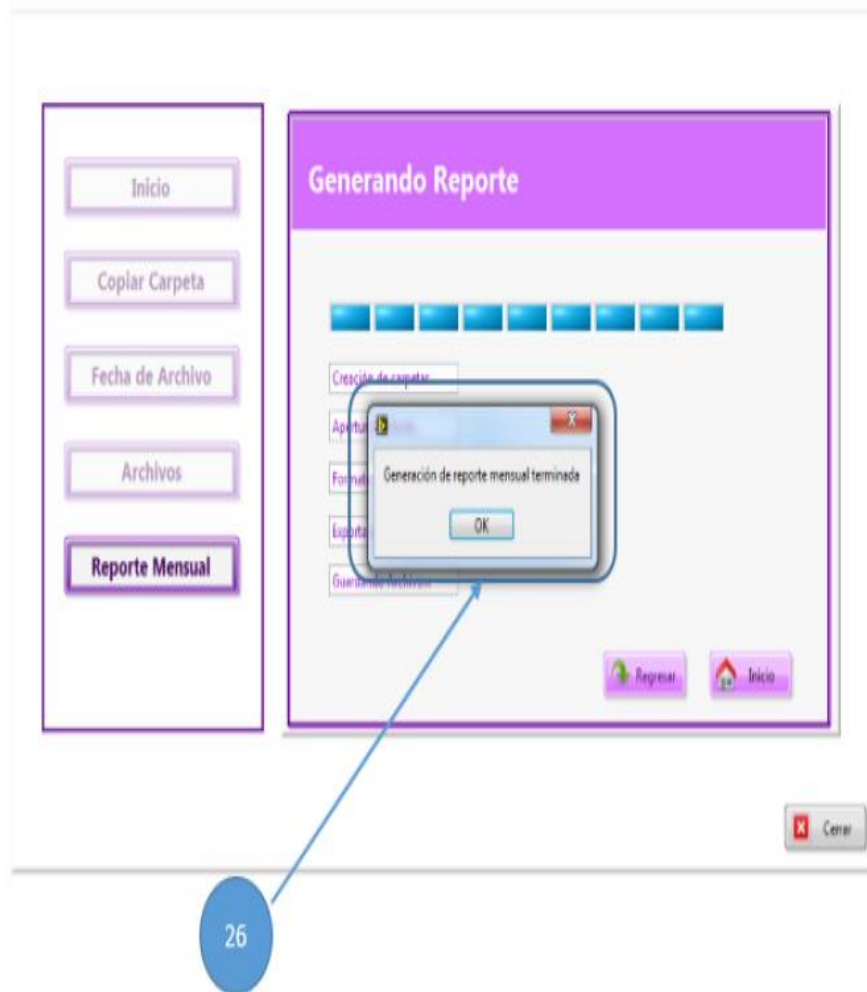
e) **REPORTE MENSUAL:** Se observa el progreso de la creación del reporte mensual.

23. **Ventana Inicio de Reporte:**

24. **Barra de progreso:** Señala en qué fase se encuentra la elaboración del reporte.

25. **Botones de Regresar, Inicio, Cerrar**

26. **Ventana Final de Reporte:** Indica que se ha terminado de elaborar el reporte mensual.



## Medición Carga Capacitiva

Mediciones Eléctricas

Frecuencia Fundamental Señal de Tensión	60.0066 Hz
Frecuencia Fundamental Señal de Corriente	60.0068 Hz
Amplitud Señal de Tensión	167.073 Vp
Amplitud Señal de Corriente	0.215274 Ap
Valor Eficaz Señal de Tensión	118.155 V
Valor Eficaz Señal de Corriente	0.165561 A
Distorsión Armónica Total Señal de Tensión	1.65019 %
Distorsión Armónica Total Señal de Corriente	42.7724 %
Potencia Activa (P)	-17.1638 W
Potencia Reactiva	-5.30527 VAR
Potencia Aparente	19.5619 VA
Factor de Potencia	-0.877414

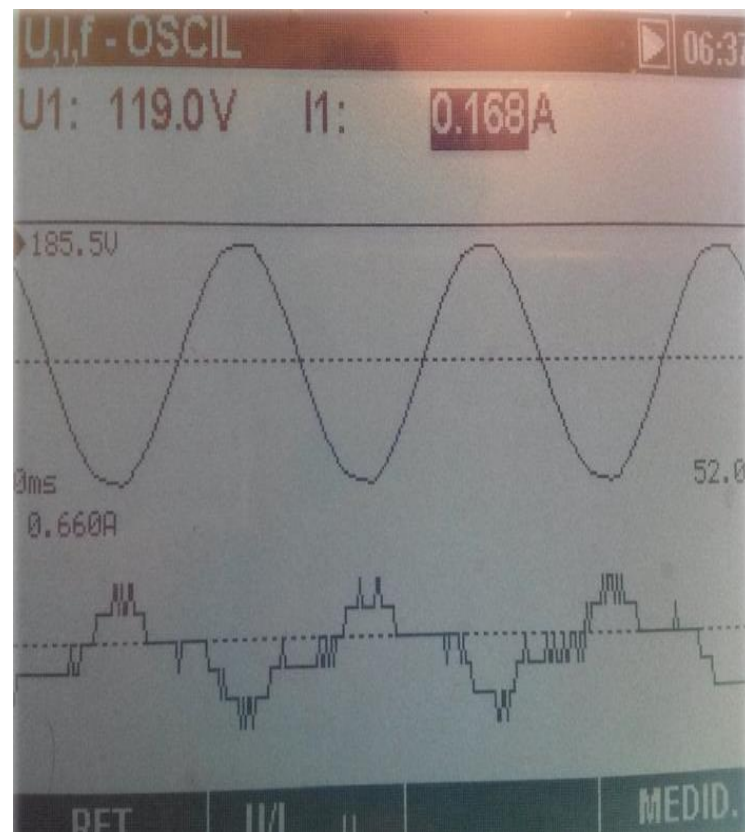
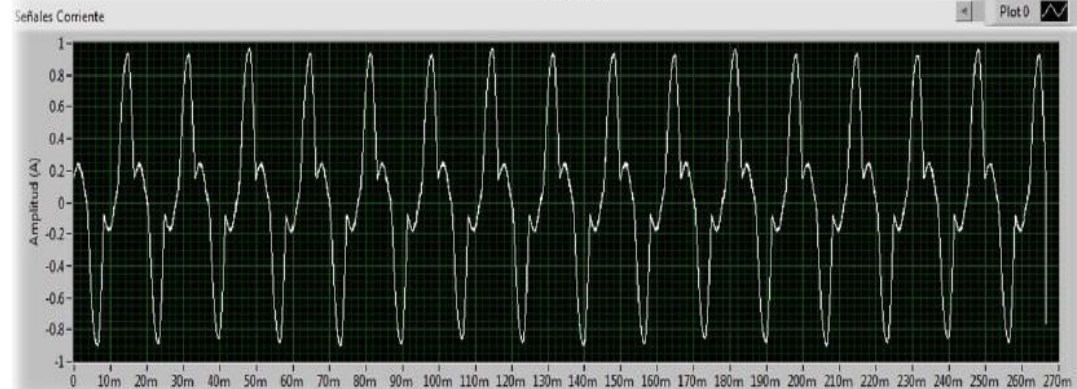
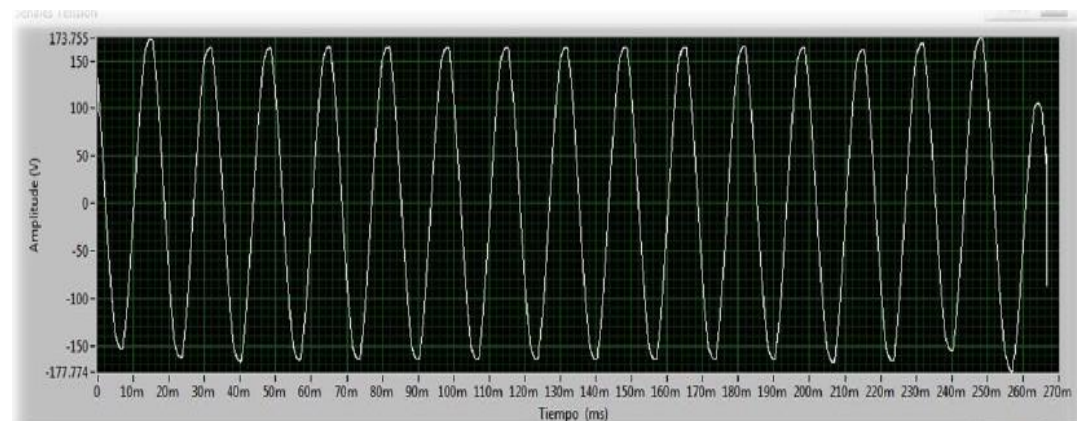
MED. POTEN. L1 06:31

P	-0.015 kW	PF	-0.83i
Q	-0.009 k <sup>V</sup> Ar	DPF	-0.97i
S	0.018 k <sup>V</sup> A		
	U		I
RMS	119.2 V		0.162 A
THD	1.86 V		0.060 A
THD	1.5 %		41.7 %



# Resultados

## Medición Carga Capacitiva



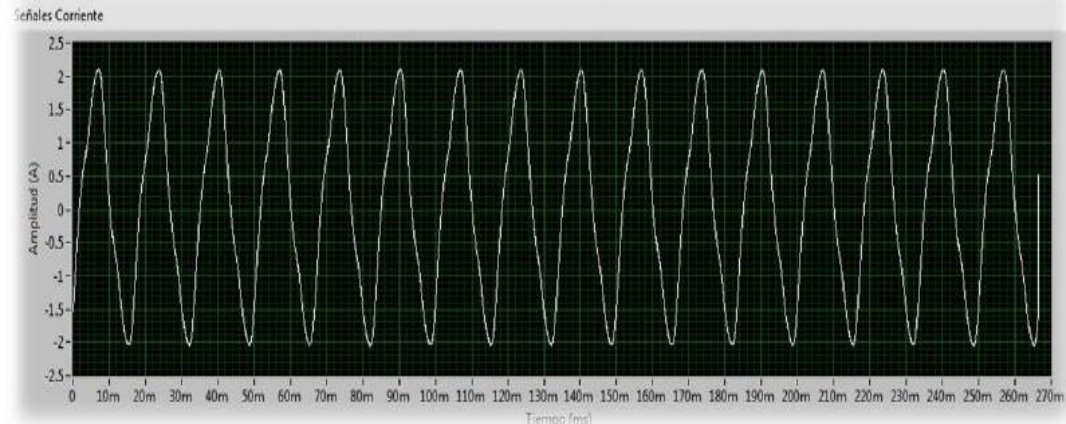
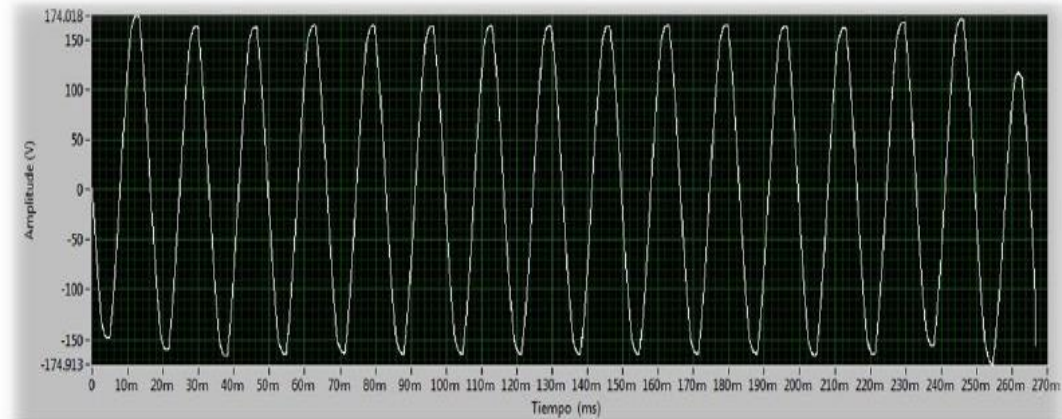
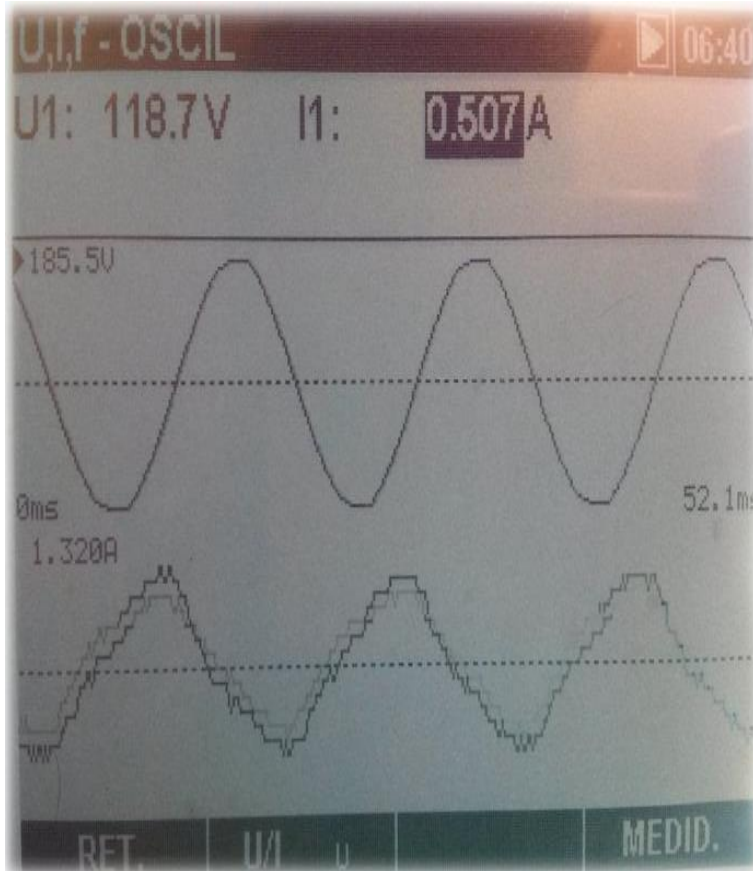
## Medición Carga Inductiva

Mediciones Eléctricas

Frecuencia Fundamental Señal de Tensión	
60.0262	Hz
Frecuencia Fundamental Señal de Corriente	
60.0262	Hz
Amplitud Señal de Tensión	
166.32	Vp
Amplitud Señal de Corriente	
0.640156	Ap
Valor Eficaz Señal de Tensión	
117.623	V
Valor Eficaz Señal de Corriente	
0.456617	A
Distorsión Armónica Total Señal de Tensión	
1.6791	%
Distorsión Armónica Total Señal de Corriente	
13.2546	%
Potencia Activa (P)	
-32.5918	W
Potencia Reactiva	
-42.121	VAR
Potencia Aparente	
53.7085	VA
Factor de Potencia	
-0.606827	

MED. POTEN.		ELECTRICA	
P	-0.030 kW	PF	-0.52i
Q	-0.048 k <sup>V</sup> <sub>Ar</sub>	DPF	-0.54i
S	0.057 k <sup>V</sup> <sub>A</sub>		
	U		I
RMS	118.9 V		0.486 A
THD	1.80 V		0.054 A
THD	1.5 %		11.2 %
CF	1.39		1.71
RET.			

## Medición Carga Inductiva



## Medición Carga Resistiva

### Mediciones Eléctricas

Frecuencia Fundamental Señal de Tensión	
59.9808	Hz
Frecuencia Fundamental Señal de Corriente	
59.9808	Hz
Amplitud Señal de Tensión	
165.926	Vp
Amplitud Señal de Corriente	
0.63415	Ap
Valor Eficaz Señal de Tensión	
117.344	V
Valor Eficaz Señal de Corriente	
0.448412	A
Distorsión Armónica Total Señal de Tensión	
1.65761	%
Distorsión Armónica Total Señal de Corriente	
0	%
Potencia Activa (P)	
-52.593	W
Potencia Reactiva	
1.37718	VAR
Potencia Aparente	
52.6182	VA
Factor de Potencia	
-0.99952	

MED. POTEN.		L1 103%	
P	-0.051 kW	PF	-1.00c
Q	0.000 k <sup>V</sup> Ar	DPF	-1.00c
S	0.051 k <sup>V</sup> A		
U		I	
RMS	118.4 V	0.438	A
THD	1.79 V	0.030	A
THD	1.5 %	7.2	%
CF	1.39	1.58	
RET.			

# Conclusiones

El monitoreo de las señales generadas por un inversor, requiere de una adquisición de datos en tiempo real, esto con el fin de obtener una copia fiel de la señal incluyendo sus perturbaciones. Con ayuda de la instrumentación virtual, dispositivos electrónicos y tarjetas de desarrollo, se ha logrado una adquisición y un procesamiento de señales con resultados apegados a los requerimientos del proyecto.

# Conclusiones

Para implementar el procesamiento de los datos en una computadora, es necesario contar con bases matemáticas para el Análisis de Señales, como la serie y la transformada de Fourier.

Debido a la dificultad que presenta la aplicación de la Transformada de Fourier sin ayuda de una computadora, existen algoritmos como la *FFT* que ayudan a realizar los cálculos de manera rápida, sin embargo, su aplicación a señales muertas reconstruidas con un número limitado de muestras, hace de los cálculos requeridos con la precisión mencionada un inconveniente.

La toma de un mayor número de muestras conlleva un mayor tiempo de espera entre cada análisis, así como un mayor consumo de recursos computacionales, por lo que fue necesario el cálculo del tiempo que durará la adquisición, frecuencia de muestreo y número de muestras, para optimizar los recursos con los que se cuentan.

El uso de la Transformada de Fourier en aplicaciones de electrónica de potencia fue fundamental para el cálculo de los parámetros requeridos por la norma CFE G0100-04.

El acondicionamiento de las señales debe ser abordado cuidadosamente, ya que, si las señales no son adquiridas de manera correcta o son alteradas en el proceso, los resultados se verán afectados de manera significativa.

Los autores agradecen a la SIP del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo recibido para la realización de este trabajo el cual es parte del proyecto de investigación registro SIP No. 20170814. Y también a la fundación Carolina, al COTEBAL- IPN y al IIEEL de México, por las facilidades otorgadas para los cursos doctorales.





**ECORFAN®**

**© ECORFAN-Mexico, S.C.**

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)