



VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

MEMORIA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN DOCENTE:

**DESARROLLO DE UN EQUIPO PARA EL ESTUDIO DE LOS
PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA Y PROTECCIÓN EN LAS
INSTALACIONES ELÉCTRICAS**

MIEMBROS DEL EQUIPO

**JUAN MANUEL GARCÍA ARÉVALO
SILVIA HERNÁNDEZ MARTÍN
ROBERTO CARLOS REDONDO MELCHOR
FÉLIX REDONDO QUINTELA
LUIS REDONDO SÁNCHEZ**

Junio de 2014

1.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO REALIZADO.

El equipo de trabajo ha realizado los siguientes Proyectos de Innovación Docente financiados por la Universidad de Salamanca:

- En el curso 2009-2010. “ Desarrollo de un equipo para la realización de prácticas y trabajos dirigidos en las asignaturas de Ingeniería Eléctrica, en entorno LabVIEW ”.

- En el curso 2010-2011. “ Diseño e implantación de un novedoso sistema de medida para las prácticas de Ingeniería Eléctrica en los nuevos planes de estudio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial “.

- En el curso 2011-2012. “ Implantación del sistema de medida desarrollado con LabVIEW para la innovación y mejora docente de las asignaturas de Ingeniería Eléctrica en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Béjar ”.

- En el curso 2012-2013. “ Implantación de un sistema desarrollado con LabVIEW para la innovación y mejora docente de las prácticas de máquinas eléctricas”.

El proyecto presentado es continuación de los cuatro anteriores. En los cuatro proyectos citados se han desarrollado equipos que han permitido la innovación y mejora de las prácticas de laboratorio en algunas de las asignaturas que el Área de Ingeniería Eléctrica imparte en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Béjar. Hasta el momento se han implantado los equipos en las siguientes asignaturas: Instalaciones Eléctricas, Tecnología Eléctrica, Electrometría, Máquinas Eléctricas y Ampliación y Cálculo de Máquinas Eléctricas.

Estos equipos facilitan la realización de prácticas y trabajos dirigidos en las asignaturas comentadas, bien sea de forma individual o en grupos reducidos. Los equipos están a disposición de los alumnos después de una explicación

inicial por parte del profesor, y permiten la realización de un gran número de prácticas y trabajos como complemento a la formación de las asignaturas. Estos equipos permiten la captación de señales analógicas y su envío, vía USB, a un ordenador. Las señales pueden ser interpretadas por el programa LabVIEW de National Instruments, que constituye una herramienta muy útil en Ingeniería Eléctrica, ya que es capaz de realizar multitud de análisis y representaciones de las señales de entrada.

Son varias las ventajas de este procedimiento en comparación con el sistema utilizado actualmente, entre ellas, que los equipos son fáciles de transportar y permiten captar los datos de forma cómoda.

En la figura 1 se observan los elementos de los que consta uno de estos equipos. De izquierda a derecha: módulo adaptador de señales, tarjeta de adquisición de datos y ordenador equipado con el programa LabVIEW.

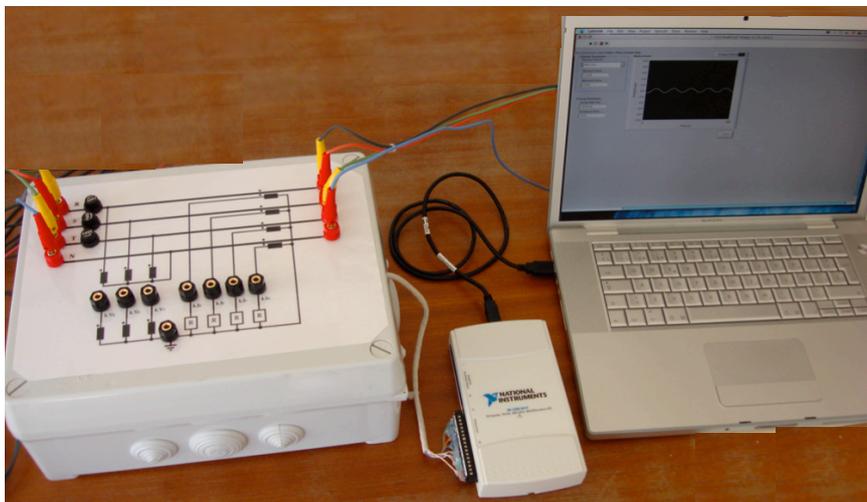


Fig.1. Equipo desarrollado.

El ordenador va equipado con el programa LabVIEW. El programa LabVIEW es un lenguaje de programación basado en objetos, desarrollado por National Instruments. La programación en LabVIEW se realiza en dos pantallas relacionadas entre sí. En una de ellas, denominada *diagrama de bloques*, se van colocando los instrumentos virtuales elementales que ofrece el programa, y se conectan mediante hilos para realizar el programa deseado. Los datos de

entrada y sus resultados se visualizan en la otra pantalla, denominada *panel frontal*, pudiéndose elegir la forma de presentación de los resultados mediante la elección de los iconos que ofrece el programa en su librería.

El objetivo final de este proyecto es el diseño de un equipo que permita estudiar los procedimientos de medida y protección utilizados en las instalaciones eléctricas; en particular, cuando las ondas están deformadas respecto a la senoide, comparando los resultados obtenidos con la aparamenta de medida y protección utilizada convencionalmente y los resultados con programas específicos realizados con LabVIEW.

Para generar ondas distorsionadas se está utilizando el generador de ondas arbitrario HMF 2550 mostrado en la figura 2, que es de gran utilidad en la obtención de los resultados con el equipo, ya que es capaz de generar ondas arbitrarias con el contenido de armónicos deseado.



Fig.2. Generador de ondas arbitrario HMF 2550.

Sin embargo, el generador HMF 2550 no es suficiente para realizar todos los ensayos previstos, ya que solo es capaz de generar tensiones con un valor máximo de 10 V. Por tanto, ha sido necesario diseñar un generador que proporcione tensiones distorsionadas y que permita obtener tensiones de mayor valor.

En este proyecto se ha acometido el diseño y construcción de un generador de tensiones sinusoidales recortadas trifásico de 220 V, que permitirá analizar el comportamiento de la aparamenta de medida y protección utilizada en las instalaciones eléctricas cuando las ondas están deformadas.

2.- JUSTIFICACIÓN DEL EQUIPO.

La implantación del equipo desarrollado en este proyecto ayudará a mejorar las capacidades específicas de las asignaturas: Instalaciones Eléctricas de Media y Baja Tensión e Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión, pero además contribuirá a la adquisición de importantes competencias transversales.

Objetivos específicos: incorporación del equipo en el desarrollo de las prácticas y trabajos dirigidos en las siguientes asignaturas.

- 106321. Instalaciones Eléctricas de Media y Baja Tensión (Grado en Ing. Eléctrica)
- 106539. Instalaciones Eléctricas de Media y Baja Tensión (Grado en Ing. Mecánica)
- 106438. Instalaciones Eléctricas de Media y Baja Tensión (Grado en Ingeniería Electrónica y Automática)
- 106322. Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión (Grado en Ing. Eléctrica)

Objetivos transversales: derivados de la utilización del equipo.

- Formación en nuevos sistemas de análisis de redes eléctricas.
- Desarrollo de la capacidad de análisis y síntesis.
- Capacidad de organización y planificación.
- Resolución de problemas prácticos.
- Fomento del trabajo en equipo.
- Adquisición de habilidades en relaciones interpersonales.
- Toma de decisiones.
- Capacidad de aplicar los conocimientos a la práctica.

3.- EVIDENCIAS DEL PROYECTO. ELEMENTOS DESARROLLADOS.

Para cumplir con los objetivos del proyecto se han realizado las siguientes actuaciones.

- 1) Diseño y desarrollo de un generador de tensiones sinusoidales recortadas trifásico de 220 V.
- 2) Diseño y desarrollo de un programa específico con LabVIEW para la comprobación de las indicaciones de voltímetros.
- 3) Comparación de las indicaciones de voltímetros convencionales con las medidas obtenidas con el programa realizado con LabVIEW con diferentes ondas de tensión.

3.1. Diseño del generador trifásico.

La figura 3 muestra el circuito utilizado para la construcción del generador en cada fase.

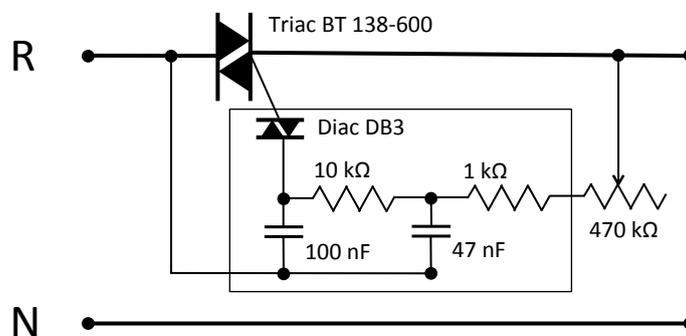


Fig.3. Esquema monofásico utilizado en el generador.

La figura 4 muestra el diseño de la fuente trifásica, consistente en tres fuentes monofásicas idénticas a las mostradas en la figura 3.

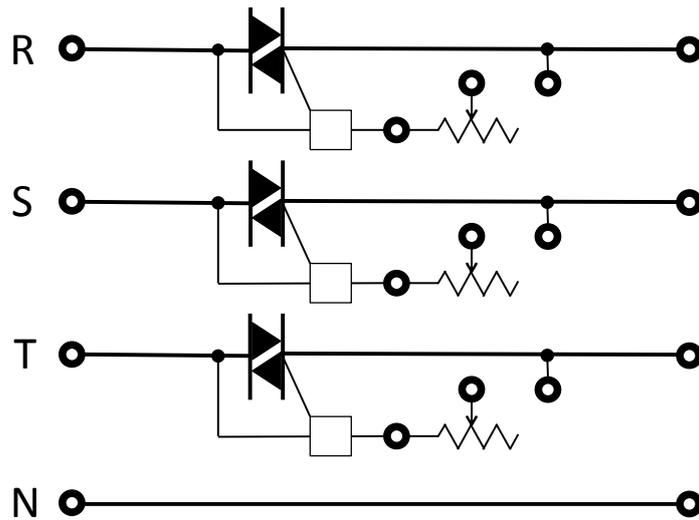


Fig.4. Esquema trifásico utilizado en el generador.

La figura 5 muestra el aspecto de la fuente trifásica construida. Este diseño permite disponer de tres fuentes monofásica con regulación independiente.

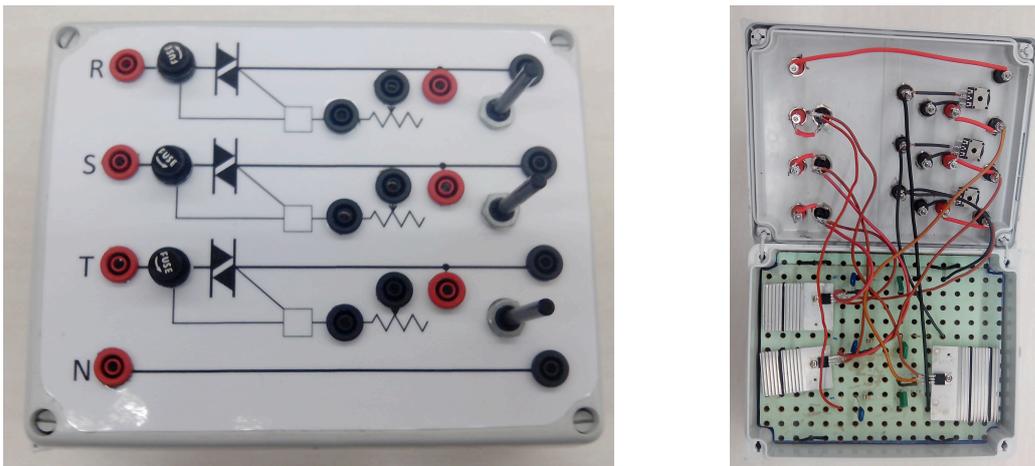


Fig.5. Aspecto exterior e interior de la fuente trifásica construida.

3.2. Diseño del programa en LabVIEW.

Con el objetivo de analizar y contrastar las indicaciones de los voltímetros utilizados habitualmente en las instalaciones eléctricas, se ha diseñado un programa en LabVIEW, que proporciona los valores característicos de cualquier tipo de onda de tensión. En la figura 6 se muestra el aspecto del panel frontal del programa empleando la fuente construida.

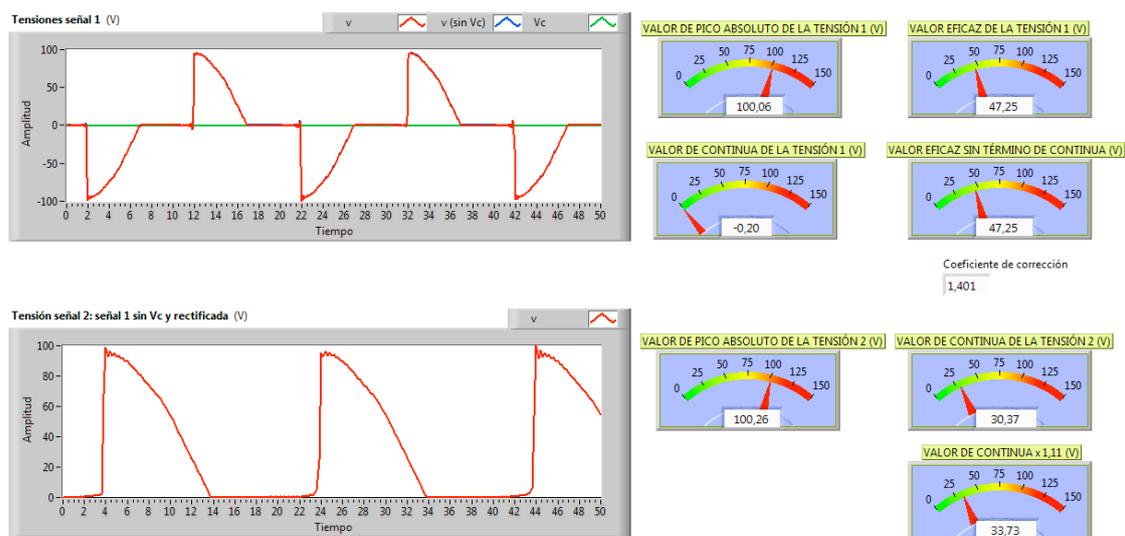


Fig.6. Aspecto del panel frontal del programa realizado en LabVIEW.

3.3. Comparación de resultados.

Se han comparado las indicaciones de varios voltímetros con las medidas obtenidas con el programa en LabVIEW . Los voltímetros utilizados han sido los siguientes:

- Multímetro HAMEG 8112-3. Aparato que mide el verdadero valor eficaz, con y sin la componente de continua. Se han registrado los valores correspondientes a las mediciones DC (medida de continua, valor medio de la señal), AC (verdadero valor eficaz de la tensión sin la componente de continua) y AC+DC (verdadero valor eficaz de la tensión incluyendo la componente de continua).
- Medidor HAMEG HM-8115 2. Es un aparato que, según el fabricante, mide el verdadero valor eficaz.
- Analizador de redes HT GSC53. Según el fabricante mide el verdadero valor eficaz.
- Voltímetro de aguja con dos escalas de tensión, 150 y 300 V. Aparato con un principio de funcionamiento electrodinámico.
- Polímetros portátiles. Se han analizado 4 modelos diferentes: Fluke 60.131, Koban KM92, Fluke 85 y Fluke 8022A. Con todos ellos se han tenido en cuenta tanto las medidas de tensión en corriente alterna como en corriente continua. Se trata de medidores basados en el valor medio.
- Analizador de redes SACI MAR-144, utilizado como voltímetro. Es un aparato que posee transformador de tensión.
- Voltímetro DISTESA. Se trata de un aparato que a pesar de tener las indicaciones CC y CA, no posee selector de continua y alterna.

Con el objetivo de comprobar si es cierto lo que indican los fabricantes, se han medido con estos aparatos las siguientes ondas de tensión:

- Onda sinusoidal
- Rectificada de media onda
- Rectificada de onda completa
- Rectificada trifásica de media onda
- Onda sinusoidal recortada a la mitad

Se ha analizado también el comportamiento de los voltímetros con tres ondas proporcionadas por el generador de funciones HAMEG HMF2550, en concreto, las siguientes:

- Onda triangular
- Onda rectangular
- Onda rectangular positiva

Las figuras siguientes muestran los resultados obtenidos con el programa en LabVIEW con las diferentes ondas de tensión citadas.

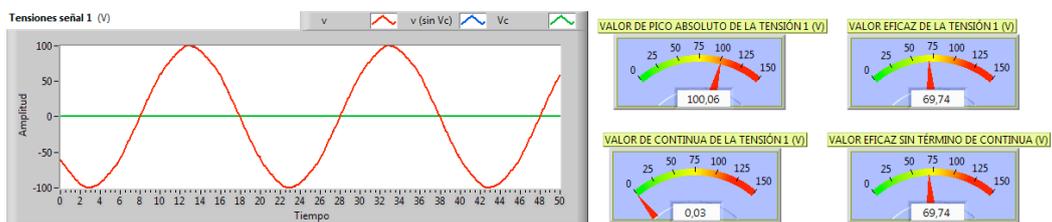


Fig. 7. Datos recogidos por LabVIEW correspondientes a la tensión sinusoidal

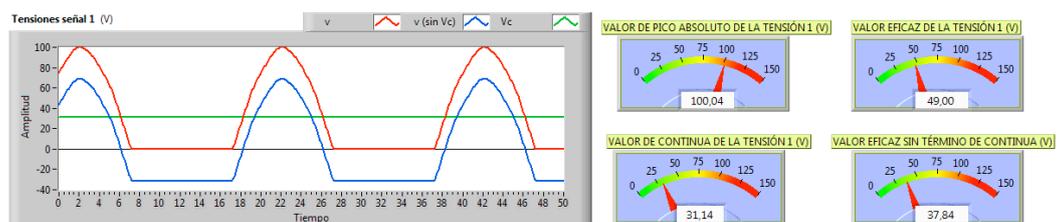


Fig. 8. Datos recogidos por LabVIEW. Tensión rectificada de media onda

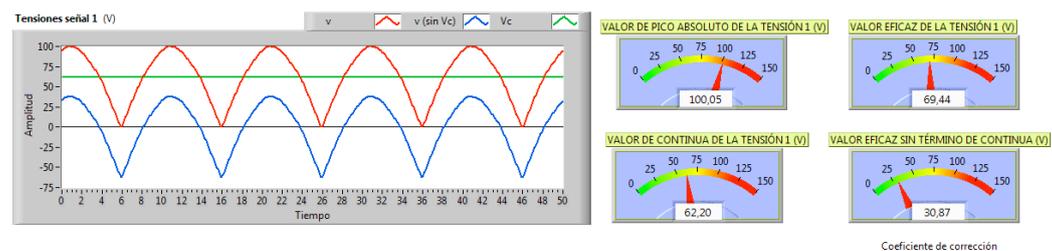


Fig. 9. Datos recogidos por LabVIEW . Tensión rectificada de onda completa

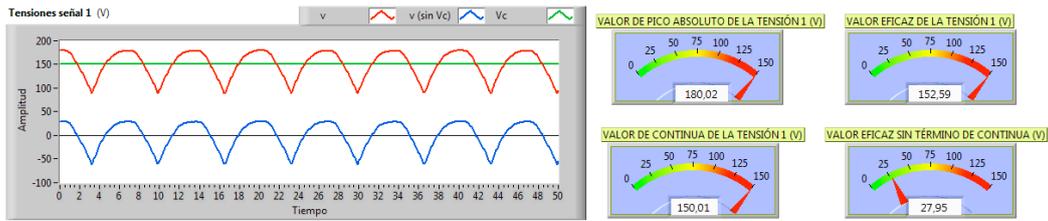


Fig. 10. Datos recogidos por LabVIEW. Tensión rectificada trifásica de media onda

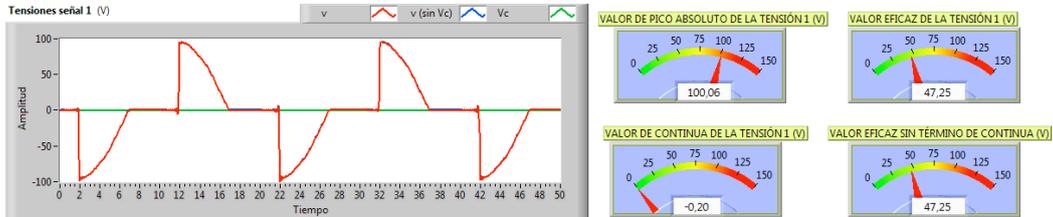


Fig. 11. Datos recogidos por LabVIEW. Tensión sinusoidal recortada a la mitad

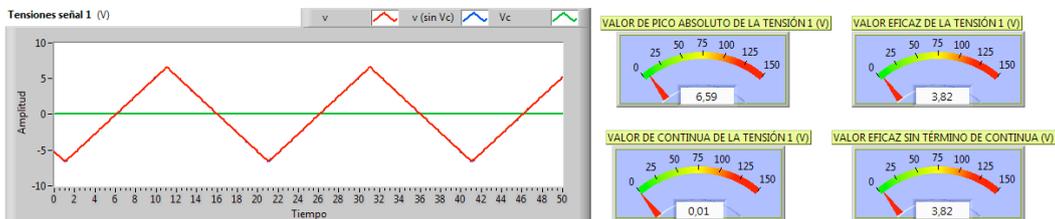


Fig. 12. Datos recogidos por LabVIEW. Tensión triangular

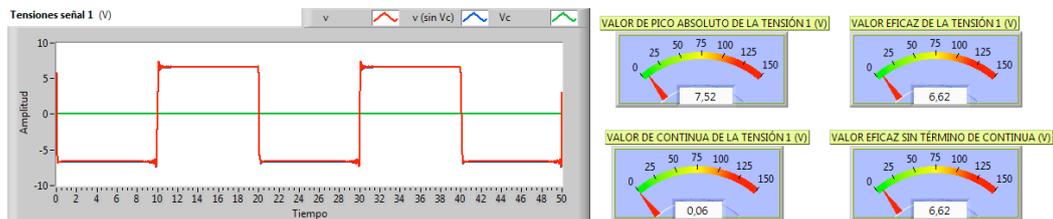


Fig. 13. Datos recogidos por LabVIEW. Tensión rectangular

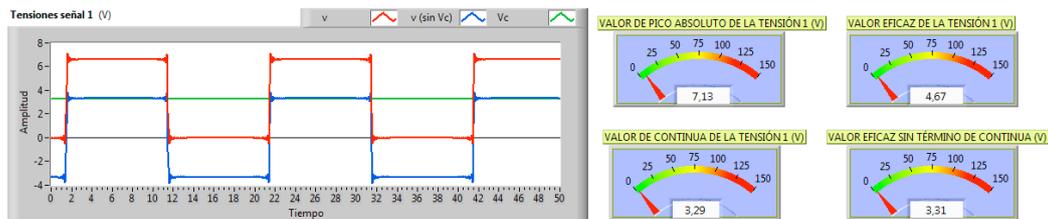


Fig. 14. Datos recogidos por LabVIEW. Tensión rectangular positiva

La tabla 1 recoge las medidas llevadas a cabo con todos los voltímetros analizados para el primer grupo de ondas.

En la primera columna de la tabla se han reflejado los valores teóricos para poder efectuar una comparativa inmediata con los valores registrados por los diferentes aparatos.

En la segunda columna se muestran los valores registrados por el programa LabVIEW. La referencia del valor máximo de todas las tensiones se ha obtenido con la medida efectuada por este programa.

En la tercera columna se han reflejado las medidas registradas por el multímetro HAMEG 8112-3 que es el aparato más completo de todos los analizados ya que es capaz de medir el verdadero valor eficaz, el valor medio y también el valor eficaz sin la componente de continua.

La cuarta columna recoge las medidas del osciloscopio TEKTRONIX TDS 2014 y el resto de columnas de la tabla muestran las medidas obtenidas con los diferentes voltímetros que se han utilizado.

Todas las medidas están expresadas en voltios y, en el caso de aparatos que registran valores eficaces (o de alterna) y valores medios (o de continua) se han anotado ambos.

Además, se han señalado en color rojo las medidas que claramente se alejan de los valores teóricos.

La tabla 2 muestra los errores relativos para cada una de las medidas efectuadas. Estos errores se han calculado de acuerdo a la siguiente expresión:

$$e(\%) = \frac{\text{valor medio} - \text{valor real}}{\text{valor real}} 100$$

siendo el valor real el valor teórico que aparece reflejado en color azul. Los errores se muestran con su signo correspondiente, negativo si la medida obtenida es por defecto (está por debajo del valor real) y positivo si la medida es por exceso, es decir, por encima del valor real.

La tabla 3 muestra los valores medidos por los voltímetros para las ondas procedentes del generador de funciones.

Tipo de onda		Valores teóricos	LabVI EW	HAMEG 8112-3	TDS 2014	HAMEG 8115-2	HT GSC53	Voltím. de aguja	Polím.	KOBAN	FLUKE 85	Polím. gris	MAR 144	Voltím. DISTESA
Sinusoidal		70,71	69,74	69,83	70,90	70,00	69,70	70,00	69,40	69,80	69,80	69,70	69,30	70,00
Rectificada de media onda	Eficaz	50,00	49,00	48,97	49,80	48,80	49,00	48,50	37,50	36,50	38,30	38,10	37,30	73,00
	Medio	31,83	31,14	31,20	32,90				30,90	30,30	31,30	31,20		
	Eficaz sin término continua	38,56	37,84	37,68										
Rectificada de doble onda	Eficaz	70,71	69,44	69,04	70,70	69,00	69,30	69,00	28,90	30,10	29,40	29,30	30,20	82,00
	Medio	63,66	62,20	62,24	63,50				61,90	60,10	62,20	62,10		
	Eficaz sin término continua	30,77	30,87	30,55										
Trifásica de media onda	Eficaz	151,32	152,59	152,37	154,00	153,00	153,20	151,80	26,90	28,50	27,30	27,20	27,80	164,00
	Medio	148,86	150,01	150,30	150,00				150,30	149,50	150,70	150,10		
	Eficaz sin término continua	27,19	27,95	27,97										
Sinusoidal recortada a la mitad		50,00	47,25	47,40	48,00	47,30	46,70	45,00	33,40	36,80	34,40	35,80	47,10	66,00

Tabla 1. Valores teóricos y valores medidos por todos los voltímetros analizados

Tipo de onda		Valores teóricos	LabVI EW	HAMEG 8112-3	TDS 2014	HAMEG 8115-2	HT GSC53	Voltím. de aguja	Polím.	KOBAN	FLUKE 85	Polím. gris	MAR 144	Voltím. DISTESA
Sinusoidal		70,71	-1,37	-1,24	0,27	-1,00	-1,43	-1,00	-1,85	-1,28	-1,28	-1,43	-1,99	-1,00
Rectificada de media onda	Eficaz	50,00	-2,00	-2,06	-0,40	-2,40	-2,00	-3,00	-25,00	-27,00	-23,40	-23,80	-25,40	46,00
	Medio	31,83	-2,16	-1,98	3,36				-2,92	-4,80	-1,66	-1,98		
	Eficaz sin término continua	38,56	-1,86	-2,28										
Rectificada de doble onda	Eficaz	70,71	-1,79	-2,36	-0,01	-2,41	-1,99	-2,41	-59,12	-57,43	-58,42	-58,56	-57,29	15,96
	Medio	63,66	-2,29	-2,23	-0,25				-2,76	-5,59	-2,29	-2,45		
	Eficaz sin término continua	30,77	0,32	-0,71										
Trifásica de media onda	Eficaz	151,32	0,84	0,69	1,77	1,11	1,24	0,32	-82,23	-81,16	-81,95	-82,02	-81,63	8,38
	Medio	148,86	0,77	0,96	0,76				0,97	-0,43	1,23	0,83		
	Eficaz sin término continua	27,19	2,79	2,87										
Sinusoidal recortada a la mitad		50,00	-5,50	-5,20	-4,00	-5,40	-6,60	-10,00	-33,20	-26,40	-31,20	-28,40	-5,80	32,00

Tabla 2. Errores relativos en las medidas efectuadas con los voltímetros analizados

Tipo de onda		Valores teóricos	LabVIEW	HAMEG 8112-3	TDS 2014	HAMEG 8115-2	Polím.	KOBAN	FLUKE 85	Polím. gris	FLUKE 87	Voltím. DISTESA
Triangular		3,80	3,82	3,82	3,94	3,80	3,63	3,70	3,68	3,68	3,80	4,00
Rectangular		7,52	6,62	6,64	6,80	6,60	7,32	7,33	7,37	7,31	6,66	5,00
Rectangular positiva	Eficaz	5,04	4,67	4,67	4,73	4,70	3,62	3,65	3,68	3,66	3,31	5,00
	Medio	4,54	3,29	3,35	3,60		3,27	3,30	3,29	3,29	3,29	
	Eficaz sin término de continua	2,18	3,31	3,33								

Tabla 3. Valores teóricos y valores medidos por todos los voltímetros analizados con las ondas procedentes del generador de ondas

4.- CONCLUSIONES.

- El equipo diseñado constituye una herramienta eficaz para el estudio de los procedimientos de medida y protección de la aparamenta utilizada en las instalaciones eléctricas.
- El generador de tensiones sinusoidales recortadas trifásico construido será de gran utilidad en el estudio cuando las ondas están distorsionadas
- De los resultados obtenidos se deduce que, cuando las ondas de tensión están distorsionadas con respecto a la senoide, las medidas obtenidas con algunos aparatos de medida, no son correctas, el error en algunos casos es muy elevado.