

COMPORTAMIENTO EN FUSIBLES DE MEDIA TENSIÓN

Luis Pomaquero Moreno

Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador
luisapomaquero@uta.edu.ec

RESUMEN:

Este trabajo aborda la generación de un instrumento de medida utilizado para obtener las curvas características que soportan los fusibles al ser inyectados con corrientes de media potencia variadas. Para esto se construyó el instrumento físico así como la virtualización del mismo en conjunto con una tarjeta de adquisición de datos. Al comprobar las curvas de corriente dadas por los fabricantes, se evidenciará que dichos parámetros sean reales y efectivos. El consumidor (empresas industriales que trabajen con fusibles de media tensión), podrá comprobar el correcto funcionamiento de dichos elementos eléctricos previo a su adquisición.

Palabras clave: medición, fusibles, virtualización, media tensión.

ABSTRACT:

This paper addresses the generation of a measuring instrument used to obtain the characteristic curves that fuses tolerate when injected with medium power varied currents. To do so, a physical instrument was built, along with its virtualization and a data acquisition board. When checking the current curves given by manufacturers, it will be evident that these parameters are real and effective. The consumer (industrial companies working with medium voltage fuses), can check the correct operation of these electrical items before purchasing them.

Keywords: measurement, fuses, virtualization, medium voltage.

1. Introducción /

Las investigaciones sobre energía eléctrica se basaron en sistemas que funcionaban con corriente directa (C.D. o CD); los cuales fueron descubiertos y efectuados por Thomas Edison [1]; otros grandes investigadores quienes sostuvieron una de las energías más efectivas sobre la corriente directa, dándose lugar a la llamada “batalla de las corrientes”, donde investigadores como Nicola Tesla [2], George Westinghouse [3], entre otros, dieron lugar al descubrimiento de la corriente alterna (C.A. o CA) siendo así uno de los pilares importantes para la sustentación y el mejoramiento de la supervivencia humana [3] [4].

Uno de los descubrimientos del ser humano es el aprovechamiento de la energía natural para la generación de electricidad en conjunto con el empleo de las redes de distribución. Esto daría lugar al desarrollo sostenible, siendo una de las fuentes sustentables a nuevas ideologías investigativas; en donde varios investigadores fueron utilizando las nobles ventajas de la corriente alterna para sus nuevos sistemas, los cuales funcionaban bajo éste concepto. Así, se ha hablado con fundamento de la sociedad industrial, la producción del conocimiento, ha constituido la clave decisiva para el incremento de la productividad.

Artículo Recibido: 25 de agosto de 2013

Artículo Aceptado: 10 de noviembre de 2013

A entenderse de manera más precisa en el sentido; donde las nuevas tecnologías, alteran el modo de desarrollo hasta el punto de dar el nacimiento a una nueva economía, por la innovación del conocimiento y sus aplicaciones productivas, promovidas por la investigación hasta llegar a un dominio de desarrollar máquinas industriales [5]; incrementando así, el desarrollo tal como se muestra en la Fig. 1.



Figura 1. Innovación del conocimiento

Las empresas generadoras de corriente alterna, y su distribución, dan sin lugar a duda una determinada viabilidad al pos-desarrollo. Creando redes de distribución para el transporte de C.A. para lo cual una elemento muy importante es la seguridad. Este proceso se encargada de velar por el buen funcionamiento del sistema completo de distribución energética, aislándole de posibles fallas de funcionamiento del resto del sistema. Los fusibles [6] son elementos de seguridad, los cuales al detectar un exceso de corriente normal dentro del sistema facilitan la desconexión de una sección en caso de necesitar reparar o ampliar una parte del circuito. Esta opción es muy ventajosa cuando dicha sección sufre un cortocircuito [7].

La fig. 2 permite la obtención de datos reales de corriente de fusión de los fusibles mediante una máquina automática acoplada a un circuito acondicionador y, para el cumplimiento del mismo, se ha previsto el siguiente diagrama de bloques.

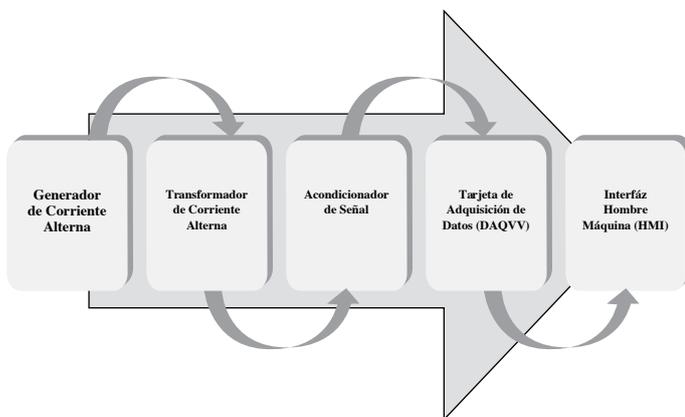


Figura 2. Diagrama de bloques Equipo de Medición

La presente investigación, obedece a las normas establecidas tanto para los fusibles de media tensión como los sistemas y equipos de protección; así tenemos, las Normas NEMA [8], IEEE [9] e IEC [10]. Dichas normas establecen los desbalances de tensión; dando así las observaciones y cuidados a tenerse en el proceso de manipulación y trabajo con los elementos de protección [11].

2. Diseño e Implementación /

2.1 Definición del equipo

Es un equipo de ensayo; el mismo, analiza y comprueba fusibles tipo K, T, H y Dual de media tensión; el cual, es utilizado para pruebas de laboratorio, permitiendo la medición y visualización de la corriente suministrada mediante un dispositivo de lectura como un amperímetro; el cual, recibe datos que se regulan con dos resistencias variables, y un shut magnético variable.

Cuenta con un HMI encargado de la presentación de los valores reales de corriente. Genera la curva de comportamiento de los elementos de protección (fusibles) sometidos a las pruebas.

2.2 Descripción del equipo

El equipo automático para la comprobación de fusibles, consta de un núcleo de hierro de silicio cuya área es de 453.08 cm², adicionalmente está formado internamente de dos bobinas cuya función será generar un campo magnético mediante tres tipos de regulación: 1) shut magnético variable para valores superiores a 90 A, 2) resistencia variable de 1000 Ω para valores entre 2 A y 20 A, 3) resistencia variable de 31Ω para valores entre 21 A y 90 A.

Bajo la descripción anterior, es necesario identificar los valores de los fusibles a ser ensayados; es decir, se podrá realizar ensayos con fusibles que soporten 100 A, con una alimentación de 110V.

2.3 Características Técnicas

La tabla 1, presenta las características del equipo automático de comprobación de fusibles.

Características	Valores	Unidades
Alimentación	110	Voltios
Corriente generada	2 – 150	Amperios (CA)
Voltaje generado	0 – 10	Voltios (CA)
Frecuencia	60	Hercios (Hz)
Potencia	750	Voltio Amperio (VA)
Sistema de Regulación de corriente	Resistencia Variable 31Ω y 1K Ω	Ohm (Ω)
Porcentaje de error en presentación de valores	±0.01	Por ciento (%)
Error de corriente	±0.03	Amperios (A)
Error de voltaje	±0.02	Voltios (V)

Tabla 1. Características básicas del equipo

2.4 Interfaz Hombre Máquina HMI

Con el fin de darle una mayor utilidad al equipo de medida, se programa un HMI para la adquisición de datos; en donde, se adquieren las variables que interviene dentro del proceso de medición, logrando así, definir los métodos y procedimientos para la presentación y manipulación de datos.

3. Construcción del Equipo

3.1. En la Fig. 3, se observa la elaboración del núcleo, donde genera un campo magnético de hasta 150 A; el mismo, está construido por 50 láminas de hierro-silicio de 1 mm de espesor; el cual, adopta una forma de una I cerrada, cuya altura es de 5 cm.



Figura 3. Núcleo cerrado en forma de I

Para la unión de cada lámina, se utiliza soldadura eléctrica, con la finalidad de conseguir una forma compacta.

3.2. Construcción de las bobinas; En la fig. 4, se puede observar la construcción del bobinado en base a los voltajes necesarios en la máquina de medición; los mismos, están formados por: la primera bobina, está formada por 110 espiras de alambre esmaltado de cobre número 19.

La segunda se divide en 2 bobinas: donde la primera bobina, está formada por 5 espiras de alambre esmaltado de cobre número 17 y la segunda bobina, está formada de una espira de alambre esmaltado de cobre número 11. La forma de cada bobina se establece mediante un molde; el cual, permitió dar la forma adecuada y funcional.

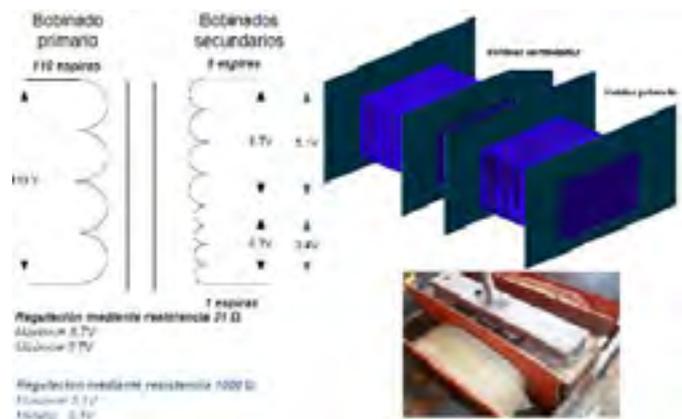


Figura 4. Bobina primaria y secundarias

3.3. Construcción y unión del núcleo magnético con el shut.- La fig. 5, muestra la base de una estructura completamente metálica con los siguientes elementos: 1) un tornillo de 20 cm de largo y 0.5 cm de diámetro; éste permite la abertura y cierre del shut, 2) dos platinas rectangulares de 5 cm de alto por 2 cm de ancho, 3) un tubo rectangular de 17.4 cm de largo por 2 cm de ancho, 4) un tubo de 15.4 cm de largo por 2 cm de ancho; éstos sirven de soporte para el tornillo y las láminas de hierro-silicio, 5) dos ángulos de 90°, 6) un cuadrado sólido formado por 53 láminas de hierro-silicio de 4.6cm por lado y 7) una platina cuadrada de 5cm por 25 cm.

Para el proceso de la unión del núcleo magnético con el shunt, se realiza mediante la utilización de soldadura, el shut se coloca en la mitad del núcleo a 11.4 cm de cada extremo; el mismo debe coincidir exactamente en el medio de la bobina primaria como secundaria, de tal manera que al estar el shut magnético activado, ésta permita la inducción de corriente al secundario, y cuando se encuentre desactivado, solo genere corriente en el primario.

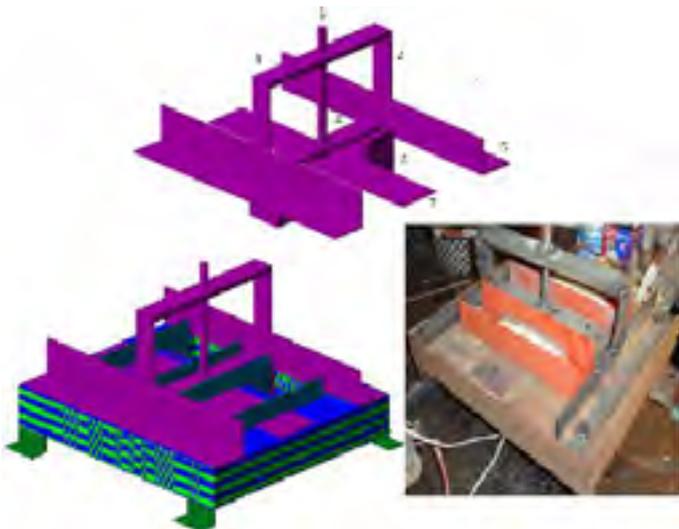


Figura 5. Estructura interna del núcleo magnético y shunt

3.4 En la Fig. 6(a-c), se muestra el Sistema de regulación de corriente; los cuales, son utilizados en las pruebas de los fusibles de media tensión; para los cuales, se crean 3 tipos de regulación de corriente: 1) resistencia variable de 1000 Ω, permite la regulación de corriente para fusibles con capacidad de corriente entre 2 A a 20 A, 2) resistencia variable de 31 Ω, permite la regulación de corriente para fusibles con capacidad de corriente entre 21 A a 90 A y 3) Shunt magnético variable, permite la regulación de corriente para fusibles con capacidad de corriente superiores a 90 A.



Figura 6. a) resistencia variable de 1K Ω, b) resistencia variable de 31 Ω y c) shunt magnético variable

3.5. Por último en la fig. 7, se muestran todas las partes colocados dentro de una estructura metálica, junto con las respectivas conexiones; y así, procedemos a efectuar las mediciones en los fusibles de media tensión.



Figura 7. Elementos colocados y conectados del equipo de medida

3.6. Para la comprobación de fusibles de media tensión, se deben convertir los valores de corriente a valores en voltaje; por cuanto la tarjeta de adquisición de datos (DAQ), sólo admite valores analógicos de voltaje más no de corriente; para tal efecto, se procede al empleo de un circuito con formado por resistencias; el mismo, debe darnos un valor de 0.123 Ω.

4. ¿Cómo se Realiza la Medición?

Reconsiderando la reducción de la corriente mediante el transformador de corriente y el circuito equivalente de 0.123 Ω, genera la siguiente relación:

$$V_{in} = I_{redTC} * 0.123 \Omega \quad (1)$$

donde:

V_{in} = voltaje de ingreso a la DAQ.

I_{redTC} = Corriente reducida del transformador de corriente.

Ejemplo: Al inyectar una corriente de 150 A, y al pasar por el reductor de corriente, se tendrá un valor de 3.75 A; éste valor se obtiene aplicando la relación (1); obteniendo un voltaje de 0.461 [V].

Los valores de voltaje son ingresados al computador; los cuales, se procesan dentro de una aplicación desarrollada con la plataforma LABVIEW, mediante sumadores, condiciones de comparación, ciclos repetitivos, gráficas y elementos de conexión que permiten la obtención de: corriente de fusión, tiempo de fusión y las respectivas gráficas con los valores adquiridos de corriente. Fig. 8

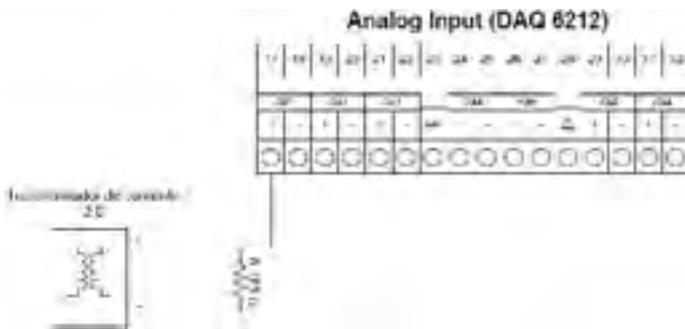


Figura 8. Conexión circuito acondicionador y DAQ 6212

5. Programación del HMI

5.1 Visualización de valores medidos

Para visualizar los valores de corriente de fusión, se realiza una aplicación empleando la plataforma de programación gráfica LabVIEW; el cual consiste en: a) prueba de fusibles (programa principal), donde se indican los controles e indicadores; los mismos, servirán para la programación y virtualización de datos adquiridos desde el equipo automático para medir la corriente de fusibles de media tensión; el mismo, está conformado por los siguientes controles e indicadores detallados a continuación, y mostrados en la fig. 9: 1) el botón inicio prueba, debe ser pulsado una vez conectado el equipo a la alimentación de 110V, esto permite dar inicio a la adquisición de los datos, 2) el control denominado frecuencia, sirve para ingresar la frecuencia entregada por la empresa generadora de energía eléctrica; para este ensayo, se utiliza 60Hz, 3) indica la corriente fusión otorgadas por las resistencias variables en conjunto con el shunt magnético, 4) indica el número de muestras diferentes de corriente generados en un ensayo, 5) indica el periodo de trabajo; el mismo, es calculado dentro de la programación, 6) indica el tiempo de fusión del fusible ensayado, en función de la frecuencia y el periodo, 7) el indicador gráfico denominado curva, nos muestra el diagrama característico correspondiente al fusible ensayado y 8) al tener todos los datos necesarios correspondientes al ensayo, se dispone de un botón denominado reporte; el cual, permitirá imprimir los valores obtenidos con anterioridad.

En la fig. 10, se muestra la ventana del formulario reporte, el cual contiene los siguientes datos: 1) fecha del ensayo, 2) tipo de fusible, 3) corriente de fusión, 4) tiempo de fusión, 5) curva característica, estos datos son tomados del HMI, y 6) la identificación de la persona quien hizo el ensayo.

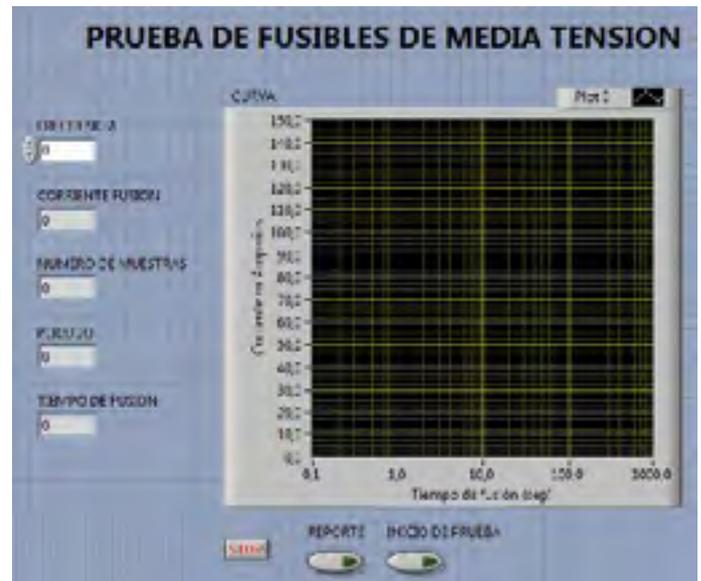


Figura 9. HMI para la prueba de fusibles de media tensión

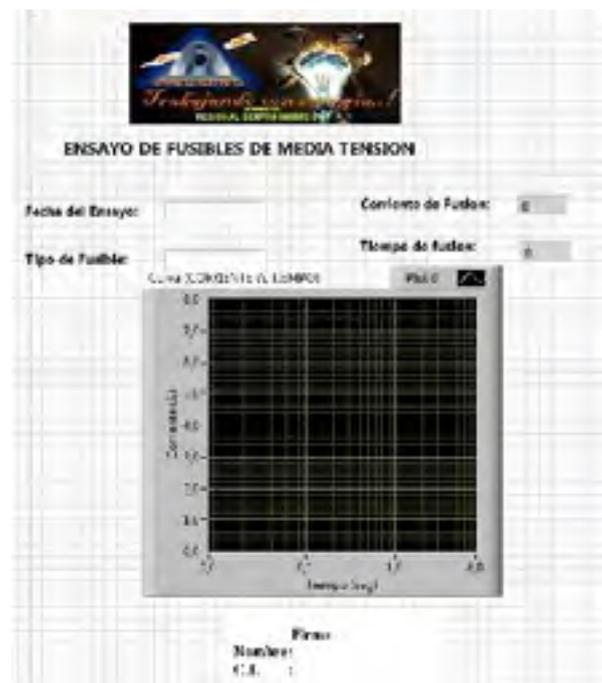


Figura 10. Ventana para impresión de reportes

5.2 Resultados Experimentales

Para comprobar las curvas de comportamiento (corriente vs tiempo) de los fusibles de media tensión el equipo tiene como principal objetivo conocer mediante las pruebas realizadas los valores reales de corriente y tiempo de fusión.

El equipo está compuesto por los siguientes elementos: amperímetro, transformador de corriente, DAQ (Tarjeta de adquisición de datos), selectores, resistencias variables. El funcionamiento se basa en la adquisición de datos, posterior a la inyección de corriente hacia el fusible de prueba; donde, los niveles de corriente dependerán de un mecanismo de regulación, definido por el valor de corriente que especifique el fusible a ser ensayado.

Antes de proceder al respectivo ensayo, debemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones con respecto al equipo de medida: 1) tener una ventilación adecuada y no colocar el equipo cerca de fuentes de calor para evitar un sobrecalentamiento del cableado, 2) considerar un intervalo de tiempo de 2 a 5 minutos entre cada ensayo, dependiendo de la capacidad de corriente del fusible; así, evitaremos el sobrecalentamiento de las resistencias que constituyen el circuito reductor, 3) asegurarse que la fuente de alimentación para el equipo sea de 110V de corriente alterna, 4) el cableado mostrado en la Fig. 12, el cual debe conectarse al seccionador (dispositivo donde se colocara los fusibles a ensayarse) deberán estar perfectamente identificados; esto es, el cable de color blanco nos indicará la tierra, el mismo se utilizará independientemente del valor de fusible que se esté probando, un cable negro (grueso) para fusibles de 25A a 150A y un cable negro (delgado) para fusibles de 1A a 24A, 5) los reguladores de corriente como el shunt magnético variable, resistencia variable de 31Ω y resistencia variable de $1K\Omega$, antes de conectar la alimentación para el equipo, deben estar en sus respectivos valores mínimos, 6) para el correcto funcionamiento del equipo automático mostrado en la Fig. 12 y 13, se debe considerar y tomar muy en cuenta los valores de los fusibles a ser ensayados; por cuanto, dichos valores dependerá del tipo de regulación requerida.

Elementos de Control y Conexiones.- La Fig. 11, muestra las conexiones del equipo a dispositivos como a la tarjeta DAQ y Seccionador. En la Fig. 11, también se debe tener las siguientes consideraciones: 1) y 2) las salidas para conexión al seccionador, se debe conectar a un extremo de dicho elemento, siempre y cuando se realice pruebas para fusibles de 0 A a 20A, o de 20 A a 150 A, 3) éste cable sirve para la adquisición de datos (voltaje) hacia la DAQ, se emplea la entrada analógica número uno (AI1), 4) éste cable, sirve para la conexión a tierra de la tarjeta DAQ, el cual tiene etiquetado las siglas GND, y 5) corresponde al cable de la fuente de alimentación; el cual, permite alimentar al equi-

po de medición con 110V de corriente alterna.

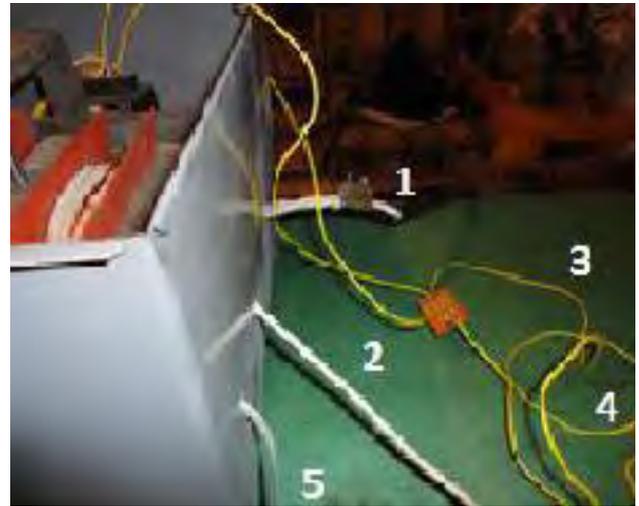


Figura 11. Conexiones del equipo a dispositivos: DAQ y Seccionador

La fig. 12, muestra la conexión del cable de Tierra, el mismo, será independiente del fusible que se esté probando; la variación de corriente a tener en cuenta, se detalla a continuación: posición 1 (para pruebas con fusibles de 21A a 150A), y posición 2 (para pruebas con fusibles de 2A a 20A).



Figura 12. Conexión al Seccionador

Los fusibles a ser ensayados, deben ser de media tensión y con los valores establecidos en las especificaciones; luego, se procede con la elección de los mecanismos de regulación; en donde, al estar en la Posición 1 nos indicará que se tendrá un valor de resistencia variable de $1K\Omega$, para valores de corriente entre 2 A y 20 A; al estar en la Posición 2 nos indicará que se tendrá un valor de resistencia variable de 31Ω , para valores de corriente entre 21 A y 90 A; y con el shunt magnético variable, nos darán valores de 91 A hasta 150 A.



Figura 13. Equipo Automático

La inyección de corriente independiente acorde al tipo de regulación que se esté utilizando, debe ser en forma progresiva, de manera que permita un adecuado incremento de la corriente; y, por tanto se obtendrían valores reales de tiempo y corriente de fusión. El seccionador es el dispositivo que permite la ubicación del fusible para las pruebas respectivas. Y para tal efecto, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

a. Separar el portafusible del seccionador. Fig. 14.



Figura 14. Porta Fusible

b. Colocar el fusible tipo T a ser ensayado en el interior del portafusible. Fig. 15



Figura 15. Fusible dentro del portafusible

c. Asegurar el fusible. Fig. 16



Figura 16. Asegurar el fusible

d. Colocar el portafusible en el seccionador. Fig. 17



Figura 17. Portafusible junto al seccionador

Al poner en funcionamiento el equipo de medida, se obtuvieron valores acorde a lo establecido por los fabricantes de fusibles tipo T de media tensión, tal como se muestra en las Fig. 18, tabla 2 y Fig. 19.

Esto conlleva a la comprobación del buen funcionamiento acorde a la tolerancia del fusible tipo T, para lo cual según muestran las Fig. 20 y Fig. 21, nos da una precisión que tiene nuestro equipo de medida; el cual visualiza y envía datos hacia el HMI; con este equipo, podemos tomar muy en cuenta la utilidad que van a tener los fusibles cuando sean conectados al sistema de distribución de energía eléctrica de corriente alterna, puesto que antes de poder adquirir al proveedor, se pueden hacer mediciones iniciales; y así,

poder saber el estado del producto adquirido con respecto al tiempo de fusión según la corriente inyectada a dicho fusible.



Figura 18. Fusible Tipo T

Corriente Transformada [A]	Corriente Inyectada [A]	Voltaje Adquirido [V]	Tiempo [sg]
0.52	21	0.08	0.08
0.62	24.5	0.12	0.09
1.08	42.2	0.207	0.13
1.16	45.5	0.222	0.16
1.28	50	0.215	0.2
1.53	60	0.248	0.25

Tabla 2. Parámetros de medición del fusible tipo T

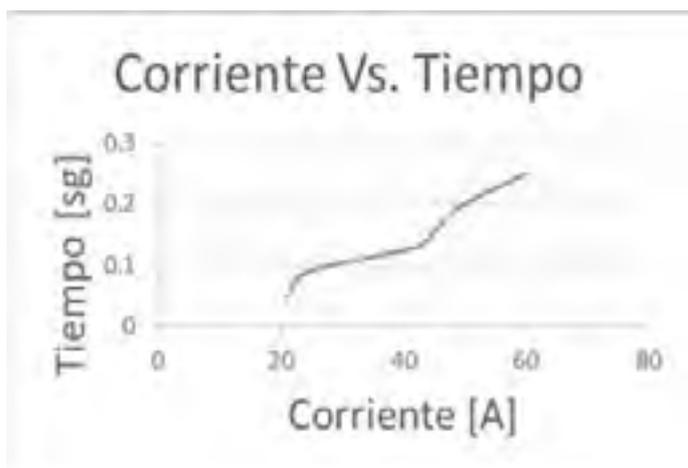


Figura 19. Corriente vs Tiempo del fusible tipo T



Figura 20. Corriente Inyectada al fusible

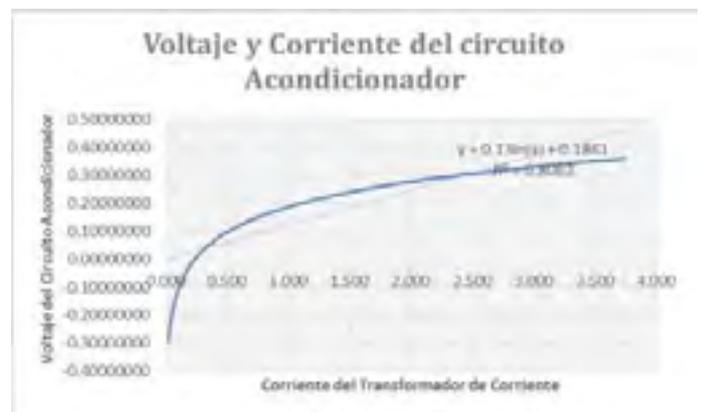


Figura 21. Corriente adquirida del fusible

6. Conclusiones /

La comprobación de las magnitudes de corriente y tiempo obtenidas dentro del ensayo permite direccionar en forma eficaz y eficiente al personal (cliente industrial) encargado de recibir los fusibles de media tensión como dispositivos de protección. Permite probar con anterioridad el buen funcionamiento de los fusibles de media tensión evitando así, daños, destrucción o recalentamiento de los transformadores.

El equipo de medida es implementado en la Empresa Eléctrica Ambato S.A. (EEASA); que lo utiliza para comprobar los fusibles de media tensión previo a la recepción de los mismos proporcionando así un servicio eléctrico adecuado y perfectamente protegido hacia los clientes residenciales.

Referencias /

- [1] Jones, J. T., & Calif, S. (1976). The American Board of Psychiatry and Neurology. *Am J Psychiatry*, 133, 1-1.
- [2] Swezey KM. Nikola Tesla: electricity today is generated, transmitted, and converted to mechanical power by means of his inventions. *Science* 1958; 127: 1147-59.
- [3] Colino, E. A., Gracia, J. R., & Martín, P. A. (2002). La batalla de las corrientes. *Técnica Industrial*, 247, 25.
- [4] C. L. Sulzberger (2003, July/August). Triumph of AC “The battle of the currents”, part 2. *IEEE power & energy magazine*. [Online] 1(4), pp. 70 – 73. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/ie15/8014/27280/01213534.pdf?arnumber=1213534>
- [5] P. Gómez García (2003, Marzo). La sociedad informacional frente a la crisis de la humanidad, *Gazeta de Antropología*. [Online]. 19(06), pp. 2, 3, 13. Available: <http://hdl.handle.net/10481/7321>
- [6] Gómez, J. C., & Reproel, S. A. Lo que usted debe conocer sobre fusibles de alta capacidad de ruptura.
- [7] Gasquet H. L., (2004, Octubre), “Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica”, *Manual Teórico Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos*, Solartronic, S.A. de C.V.
- [8] NEMA, *Motors and Generators*, NEMA Standar MG1-1993. Publishing by NEMA, 1993.
- [9] IEEE, *Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*, IEEE Standard 141- 1993.
- [10] IEC, *Effects on Unbalanced Voltages on the Performance of Induction Motors*, IEC 60034-26, Publishing by IEC, 2002.
- [11] Londoño-Parra, C. M., & Ramírez-Echavarría, J. L. (2013). Normas de Eficiencia Energética de Motores de Inducción, ¿Está Preparada Latinoamérica? *Tecnológicas*, (30), pp. 117 – 147