

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SUPRESOR DE ENERGÍA EN STAND BY PARA EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA MEDIA

David Agualsaca, Paúl Ayala, Wilson Yépez

Resumen— En la actualidad existe un uso irracional de la energía eléctrica en los hogares por la inclusión de equipos electrónicos en las actividades cotidianas y a los malos hábitos de consumo de la misma, como dejar luces encendidas en áreas inutilizadas y equipos en modo stand by. Las tendencias mundiales por el cuidado del medio ambiente exigen medidas para contribuir al ahorro de energía y disminuir el impacto que genera el producirla, por lo tanto no es posible pasar por alto el consumo de los equipos electrónicos de potencia media en modo stand by, que si bien los consumos individuales son relativamente bajos, la suma de cada uno de los aparatos electrónicos es un valor a ser tomado en cuenta. El presente artículo pretende dar una guía en el diseno y la implementación de un supresor de energía en estado stand by para equipos electrónicos de potencia media, y brindar una idea clara del ahorro tanto energético como económico que podría generar al ser implementado en hogares y oficinas principalmente.

Palabras claves – energía, stand by

I. PARÁMETROS INTERNACIONALES DE CONSUMO ENERGÉTICO EN MODO STAND BY

Estudios realizados en Australia indicaron que alrededor del 11% del consumo eléctrico residencial corresponde al consumo en modo stand by. Expertos estiman que en Estados Unidos existirá un alcance del 30% del consumo residencial para el 2030.

Desde 1999, la Unión Europea tiene en marcha códigos de conducta, en el 2001 se implementó un código cuya finalidad era comprometer a los fabricantes de televisores, videos, lectores de DVD, sistemas de sonido, ordenadores, impresoras y otros aparatos electrónicos para reducir el consumo de energía en modo stand by.

Otra iniciativa adoptada en varios países es el etiquetado ecológico, en el que detalla información del consumo en

modo stand by de equipos eléctricos y electrónicos y un cálculo de la energía anual que este representa.

II. SUPRESOR DE ENERGÍA EN STAND BY PARA EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA MEDIA

El objetivo del principal del estudio es diseñar e implementar un sistema automático que permita reducir en al menos un 80% el consumo de energía en modo stand by generado por los equipos electrónicos conectados al mismo, y de esta manera contrarrestar el desperdicio de energía eléctrica.

A. Descripción de los componentes del supresor de energía stand by

A1. Sensor infrarrojo: Debido a que gran cantidad de equipos electrónicos poseen un mando remoto infrarrojo, se implementara un receptor infrarrojo que permitirá habilitar el paso de la energía eléctrica desde la red de baja tensión hacia el equipo electrónico, dicho receptor será compatible con señales infrarrojos de controles de diversos fabricantes.

A2. Sensor de audio y detector de aplausos: Con la finalidad de disponer de un sistema que permita controlar el suministro de energía eléctrica hacia los equipos electrónicos cuando no se dispone de un mando remoto infrarrojo, se implementara un detector de aplausos. El mismo que deberá poder diferenciar entre las diversas señales auditivas presentes en el entorno y el sonido de un aplauso.

A3. Sistema de energía de respaldo: Para contribuir a una mayor disminución del consumo de energía mientras los equipos electrónicos no están siendo utilizados se adicionará al supresor una batería NiMh recargable que brinde total autonomía de la energía proveniente de la red eléctrica de baja tensión. En función de esto se implementara también un sistema cargador de baterías con desconexión automática.

A4. Sensor de corriente: Es necesario conocer el nivel de consumo del equipo electrónico conectado para determinar el momento en el que este se encuentra en modo stand by y proceder a la desconexión de la energía eléctrica hacia el equipo, eliminando el periodo en que el equipo permanece en stand by.

*Resrach supported by ABC Foundation.

F. A. Author is with the National Institute of Standards and Technology, Boulder, CO 80305 USA (corresponding author to provide phone: 303-555-5555; fax: 303-555-5555; e-mail: author@boulder.nist.gov).

S. B. Author, Jr., was with Rice University, Houston, TX 77005 USA. He is now with the Department of Physics, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523 USA (e-mail: author@lamar.colostate.edu).

T. C. Author is with the Electrical Engineering Department, University of Colorado, Boulder, CO 80309 USA, on leave from the National Research Institute for Metals, Tsukuba, Japan (e-mail: author@nrim.go.jp).

A5. *Sistema de reajuste de parámetros:* Debido a que el supresor de energía stand by controlara el suministro de energía para diversos tipos de equipos electrónicos, es necesario reconocer el nivel de consumo en modo stand by de cada uno de ellos, para lo cual se deberá implementar un método de reajuste de parámetros que permita su correcto funcionamiento.

A6. *Microcontrolador:* Para definir el modo de operación del supresor de energía stand by se utilizara un micro controlador el mismo que deberá tener un conversor análogo digital integrado para realizar el análisis de las señales analógicas provenientes de los diferentes sensores.

A7. *Fuentes de energía:* El sistema deberá poseer dos fuentes de energía continua, la fuente principal que brindara la tensión adecuada tanto a la fuente de alimentación secundaria y al cargador de baterías. La fuente de energía continua secundaria regulara el nivel de tensión al requerido para el correcto funcionamiento de los circuitos integrados y el microcontrolador.

A8. *Etapa de potencia:* La etapa de potencia estará constituida por los elementos que controlan el suministro de energía eléctrica hacia el equipo electrónico de potencia media y al supresor de energía.

B. Diseño del supresor de energía en stand by

A continuación se detallan los componentes a ser considerados para la implementación del supresor de energía y el diseño de cada uno de los sistemas.

B1. *Diseño del sensor de corriente:* Existen diversos métodos empleados para realizar mediciones de corriente, sin embargo uno de los mas sencillos y que mejor respuesta presenta es la medición de corriente a través de la bobina de rogowski. La bobina de rogowski se basa en medir los cambios del campo magnético que se produce alrededor de un conductor portador de corriente produciendo una señal de voltaje a su salida. Entre las ventajas que presenta este método se encuentran: una alta linealidad en el rango de operación, capacidad de medición de altas corrientes sin cambiar el sensor, al no poseer núcleo ferro magnético no existen problemas de saturación ni de histéresis, en la figura 1 se puede observar el esquema de una bobina de rogowski.

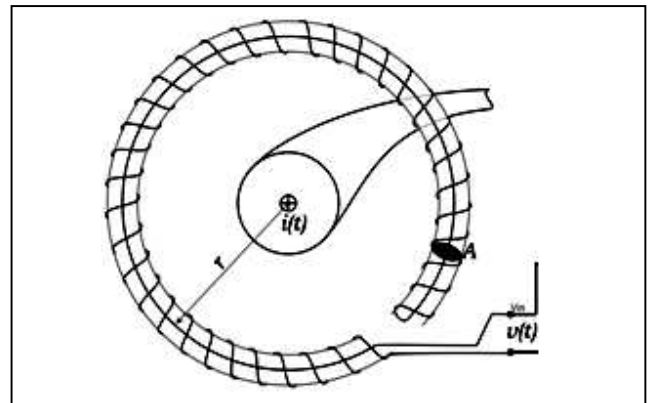


Fig. 1. Bobina de rogowski.

La tensión de salida de la bobina estará dado por la ecuación 1:

$$V_{salida} = -M * \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

Siendo M el valor de la inductancia mutua de la bobina determinada por la ecuación 2:

$$M = \frac{\mu_{nucleo}}{2 * \pi} * N * h * \ln \frac{b}{a} \quad (2)$$

; donde N es el numero de espiras, h es la altura de la bobina, b el diámetro exterior y al diámetro interior de la bobina.

Debido a que la tensión de salida de la bobina de rogowski es muy pequeña, se implementa una etapa de amplificación utilizando el circuito integrado LM386 estableciendo una ganancia de 200, como lo indica el esquema de conexión de la figura 2.

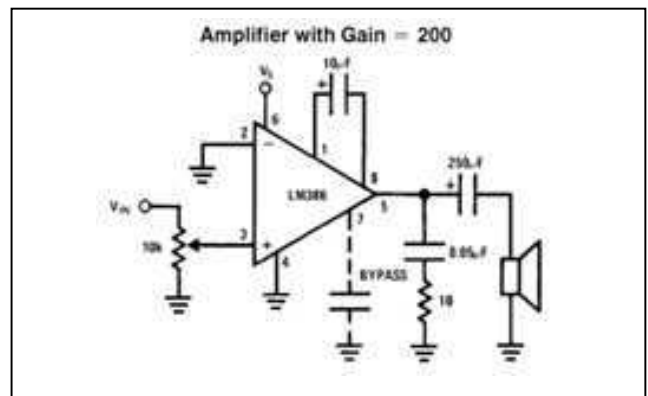


Fig. 2. Esquema de amplificación.

Debido a que la tensión de salida se encuentra en función de la derivada de la corriente respecto al tiempo se hace necesario utilizar un circuito integrador que brinde una señal de salida en función de la corriente que circula por el conductor.

El circuito integrador será implementado utilizando un amplificador operacional según el esquema de la figura 3.

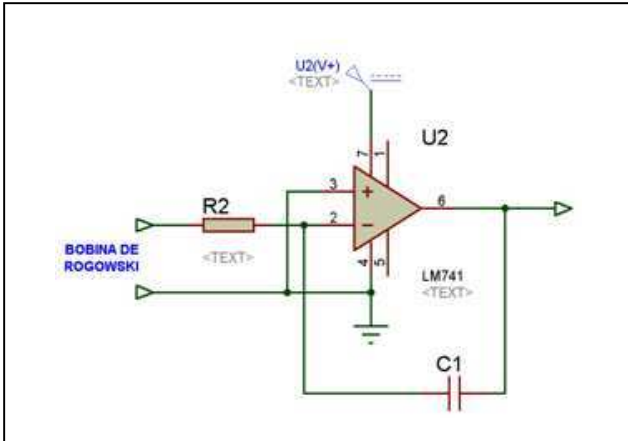


Fig. 3. Circuito integrador.

El valor de tensión de salida estará dado por la ecuación 3.

$$V_{salida} = -\frac{1}{R \cdot C} * \int V_{entrada}^t \quad (3)$$

A continuación en la figura 4 se puede observar el diagrama de conexión completo del sensor de corriente.

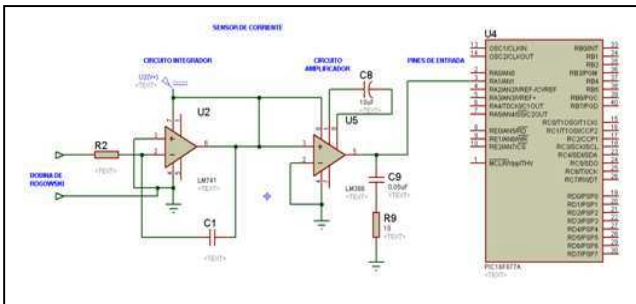


Fig. 4. Diagrama de conexión del sensor de corriente.

B2. Diseño del sensor infrarrojo: El sensor infrarrojo se encuentra constituido por un receptor infrarrojo que detecte señales con frecuencia portadora de 38KHz, y se deberá conectar de acuerdo al esquema de la figura 5.

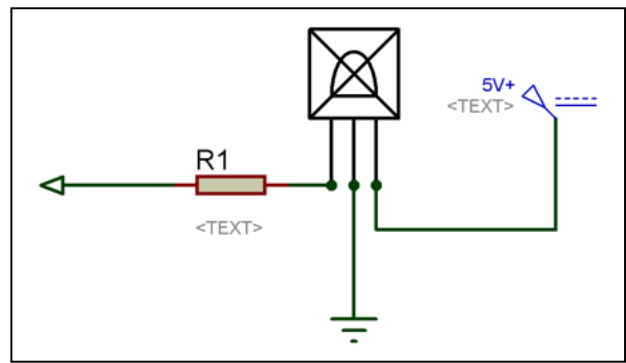


Fig. 5. Diagrama de conexión sensor infrarrojo

Al recibir una señal infrarrojo el sensor tendrá a su salida un 0 lógico.

B3. Diseño del sensor de audio y detector de aplausos: La señal de audio será captada a través de un micrófono electrolítico, antes de ser enviada al pic atravesara una etapa de amplificación en el circuito integrado lm386, el diagrama de conexión corresponde al mostrado en la figura 6.

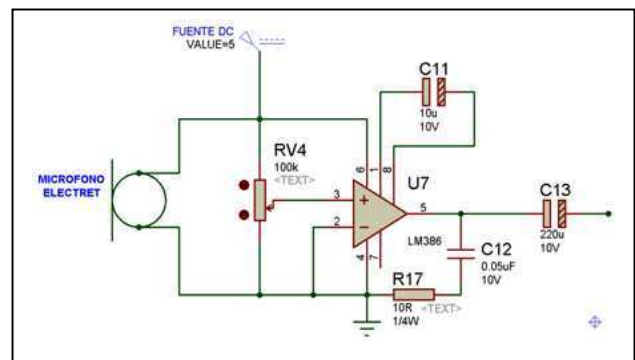


Fig. 6. Diagrama de conexión sensor de audio.

La señal proveniente del sensor de audio será filtrada en el pic para diferenciar un aplauso del resto de señales auditivas captadas.

Para el diseño del filtro digital es necesario definir el rango de frecuencias en el cual se encuentra el sonido de un aplauso, para lo que se utiliza el análisis de frecuencia. Con la ayuda de las herramientas para el diseño de filtros digitales en matlab se obtiene los coeficientes de la función de transferencia, la misma que deberá ser expresada a través de la ecuación a diferencias, para poder realizar su implementación en el pic.

La ecuación 4 muestra la ecuación a diferencias determinada en el presente filtro.

$$y[n] = x[n] - x[n - 2] + 1.9408y[n - 1] - 0.98y[n - 2] \quad (4)$$

La señal obtenida después de ser filtrada con la ecuación a diferencias es mostrada en la figura 7.

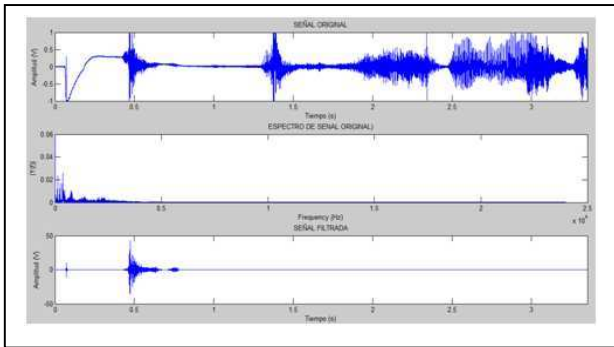


Fig. 7. Señal de audio filtrada.

B4. Sistema de energía de respaldo: El sistema de energía de respaldo está constituido por: una batería recargable de 8.4V 170mAh, sistema cargador y el sistema medidor de carga, el cual permitirá conocer cuando la batería requiere iniciar su ciclo de carga.

El medidor de carga será implementado de acuerdo al esquema de la figura 8.

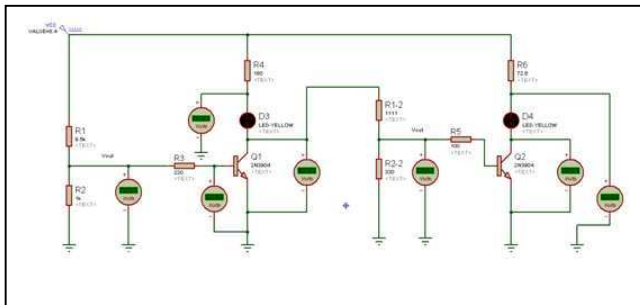


Fig. 8. Diagrama de conexión del medidor de carga.

El divisor de tensión a la entrada permitirá tener un voltaje de 0.8V es decir el mínimo para excitar la base del transistor teniendo como VCC 8.4V, esto permitirá que se encienda el led verde indicando que la batería se encuentra cargada, la segunda etapa es diseñada de manera similar; cuando la tensión proveniente de la batería cae hasta un valor cercano a 7.56 el transistor deja de conducir permitiendo que la corriente circule por el segundo transistor y causando que el led rojo conectado en su colector se encienda indicando que la batería debe iniciar su ciclo de recarga.

El cargador de batería se implementará según el diagrama de conexión especificado en la hoja de datos del circuito integrado LM317T mostrado en la figura 9, se determinó que la corriente de carga de la batería deberá ser de 17mA.

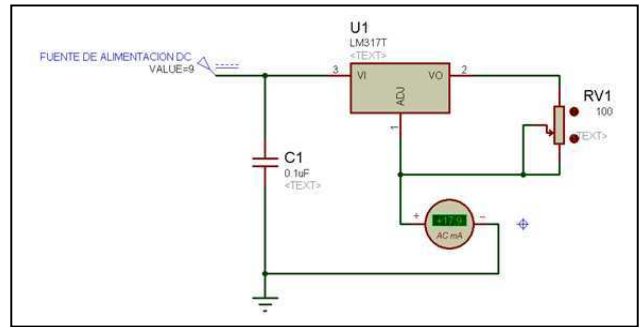


Fig. 9. Diagrama de conexión cargador de batería.

La finalización del proceso de carga de la batería se lo realizará al detectar el pico de voltaje que se genera cuando la batería se encuentra totalmente cargada.

B5. Fuentes de alimentación: El esquema de conexión a seguir para la implementación de las fuentes de alimentación será el especificado en la hoja de datos del circuito integrado LM317T mostrado en la figura 10, en la que se lo emplea como regulador de tensión.

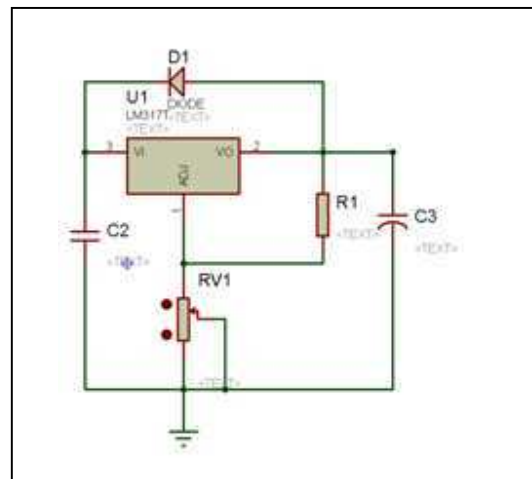


Fig. 10. Diagrama de conexión fuente de alimentación.

Debido a que la fuente principal recibe 12V provenientes de un transformador, rectificado a través de un puente de diodos, es necesario realizar el análisis respectivo para determinar el filtro capacitivo necesario a la entrada del circuito integrado que permita obtener una señal de similares características a la mostrada en la figura 11.

La fuente de alimentación secundaria deberá proveer una tensión de cinco voltios requerida para el correcto funcionamiento de los circuitos integrados y el micro controlador.

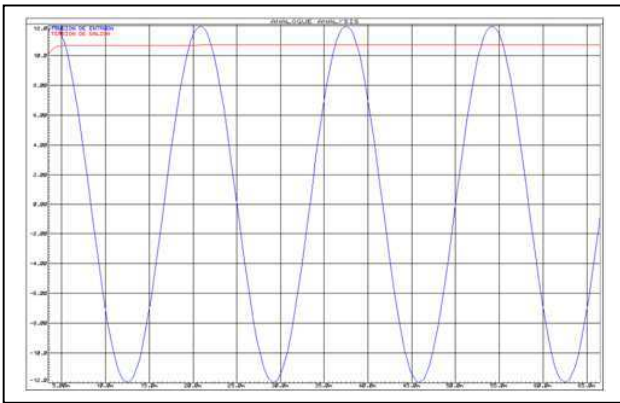


Fig. 11. Rectificador de onda completa con filtro capacitivo.

B6. Etapa de potencia: La conmutación del suministro de energía tanto de AC como DC para el sistema se la realizara a través de 4 relés electromecánicos, dispuestos de la siguiente manera: el primer relé conmutara la energía proveniente de la red de baja tensión hacia el equipo electrónico conectado, el segundo relé proveerá de energía a la fuente de alimentación principal, el tercer relé controlara el suministro de energía proveniente de la fuente de alimentación principal hacia el cargador de baterías y finalmente el cuarto relé conmutara entre la fuente de alimentación principal y la batería para brindar energía a la fuente de alimentación secundaria.

B7. Sistema de ajuste de parámetros: El ajuste de parámetros se lo realizara cuando se provoque una interrupción en el micro controlador, al detectarla el pic registrara el valor conectado en su entrada analógica correspondiente al sensor de corriente y almacenara este valor.

C. Implementación del supresor de energía en stand by

Una vez diseñados los sensores y habiendo definido las conexiones tanto de entrada como de salida del pic16f877A, se procede a implementar siguiendo el diagrama de conexiones de la figura 12.

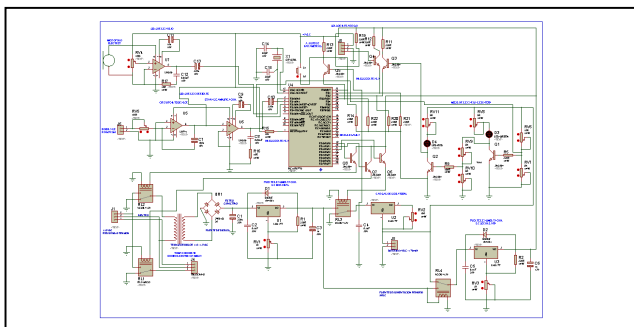


Fig. 12. Diagrama de conexión de supresor de energía en stand by.

Se deberá programar el pic de tal manera que su funcionamiento sea el siguiente:

- Cuando se presione el pulsador conectado a su entrada RB0 se producirá una interrupción permitiendo registrar el 5 valor de su entrada analógica correspondiente al sensor de corriente, cada vez que en la entrada analógica se presente dicho valor se deberá deshabilitar el suministro de energía al equipo electrónico conectado, así mismo se interrumpirá el paso de energía proveniente de la red de baja tensión hacia el transformador de 110 - 12 VAC.
- Al recibir una señal infrarroja o al detectar un aplauso, se deberá restituir el suministro de energía tanto al transformador como al equipo electrónico conectado.
- Al detectar una señal en la entrada conectada al medidor de carga de la batería se deberá iniciar el ciclo de carga activando el relé que se encuentra conectado entre la fuente de alimentación principal y el cargador de baterías.
- Una vez iniciado el ciclo de carga el pic deberá determinar a través de su entrada analógica conectada al primer divisor de tensión del medidor de carga el pico de voltaje generado cuando la batería se encuentra totalmente cargada.

D. Pruebas de funcionamiento

Se realizaron las pruebas de funcionamiento del supresor de energía en estado stand by utilizando tres equipos electrónicos: un televisor, un equipo de sonido y un computador de sobremesa.

Se registraron los siguientes consumos de energía mientras los equipos electrónicos se encontraban en modo stand by: televisor 127mA, equipo de sonido 313mA, computador de sobre mesa 98mA.

Al conectar el supresor de energía stand by entre la red de baja tensión y equipo electrónico se elimina el modo stand by de los equipos, y el consumo de energía es únicamente el generado por el supresor, un promedio de 42,3mA. También disminuyó el tiempo en el que se genera el consumo stand by debido a que el supresor de energía posee una batería recargable que le permite tener autonomía total de la alimentación proveniente de la red de baja tensión.

E. Ahorro de recursos energéticos y económicos

Tomando como referencia el valor de los consumos medidos en los equipos electrónicos durante el modo stand by, estimando el tiempo que cada uno permanece activo y el periodo que se encuentra en modo stand by; y cuantificando el consumo mensual generado por los equipos electrónicos en 30 días, se calcula un consumo de 27,9108kWh con un costo de \$1.95.

Al proceder de la misma manera pero tomando en cuenta los consumos al implementar el supresor de energía en estado stand by, el valor calculado es 1.584kWh con un costo de \$0.11.

III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

- El presente trabajo de investigación ha permitido la implementación de un supresor de energía stand by para equipos de media potencia con un alto porcentaje de ahorro tanto energético como económico, poniendo al alcance una herramienta practica que contribuya a la disminución del gasto innecesario de energía.
- Para la implementación del supresor de energía stand by la bobina de Rogowski como medidor de corriente presento facilidades tanto en su diseño como en su posterior elaboración y adaptación al sistema, además, presenta una alta linealidad con respecto a la corriente que se requiere medir; al poseer núcleo de aire no sufre de saturación brindando la flexibilidad de censar corrientes bajas como corrientes altas con la misma bobina.
- El supresor de energía stand by implementado ha permitido disminuir satisfactoriamente el consumo de energía stand by en equipos de media potencia en un porcentaje alrededor del 94.35 %.
- El utilizar una batería de respaldo que brinde autonomía total al sistema de la energía proveniente de la red de baja tensión incrementa en una proporción de 4:1 el ahorro energético generado por el supresor de energía stand by.

B. Recomendaciones

- Con el fin de obtener una bobina de Rogowski conforme a lo diseñado y que no presente mayores perturbaciones se deberá tener en cuenta que el espaciado entre las espiras deberá ser igual.
- La vida de útil del supresor de energía stand by se encuentra limitada por la utilización de relés electromecánicos, por lo que se sugiere realizar la implementación con relés de estado sólido, que presentan una respuesta más rápida y efectiva, y un ciclo de vida útil mayor; sin embargo, se deberá tomar en cuenta que su costo es superior a los relés electromecánicos.

IV. BIBLIOGRAFÍA

- [1]<http://www.iea.org/textbase/papers/2007>, Standby Summary
- [2]http://www.energystar.gov/index.cfm?c=tv_vcr.pr_crit_tv_vcr, TVs Key Energy Star product criteria
- [3]<http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/eo13221.pdf>, Executive Order 13221 – 30 de julio del 2001
- [4]WARD, D. A, and J. Exon. “Using Rogowski coils for transient current measurements”, Engineering Science and Education Journal, 1993
- [5]RAMBOZ, J. D, “Machinable Rogowski coil. Design and calibration”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 45, no. 2, pp. 511–515, April 1996.
- [6]ARGÜESO, Martha, Estudio de una bobina de rogowski como sonda detectora de pulsos de alta frecuencia, febrero 2005

V. BIOGRAFÍA

David Agualsaca - Recibió el título de Ingeniero en Electrónica, Control y Automatización en la Escuela Politécnica del Ejército en el mes de julio de 2012. Sus investigaciones incluyen el diseño y la implementación de un supresor de energía en estado stand by para equipos electrónicos de potencia media.

Ing. Paúl Ayala - Ingeniero Electrónico en Automatización y control, Máster en Mecatrónica , actualmente candidato a PhD en Automática y Controles por la CUJAE Cuba, docente investigador Escuela Politécnica del Ejército de Ecuador. Sus áreas de interés son la electrónica de potencia y la eficiencia energética.

Ing. Wilson Yépez - Ingeniero Eléctrico, su área de interés es eficiencia energética y auditoria energética, ha pertenecido a grupos de investigación en eficiencia energética del CYTED, docente investigador de la Escuela Politécnica del Ejército.