

Prototipo de interruptor digital para calentadores eléctricos del sector residencial en Cuba*

Franki Córdova Batista

fcbatista@electronica.ismm.edu.cu

Especialidad: Ingeniería Eléctrica

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se implementó un dispositivo digital que permitió la desconexión automática de calentadores fijos de acuerdo con la relación de un volumen de agua determinado y la temperatura deseada por el usuario. De esta manera se redujo el tiempo de conexión de los calentadores, lo que conlleva a un significativo ahorro de energía al país. Su base de operación estuvo determinada por los resultados de diferentes pruebas, de las cuales se obtuvieron expresiones matemáticas que rigen el sistema de control del circuito electrónico. El interruptor digital está elaborado por componentes de bajo costo por lo que podrá ser de fácil adquisición y montaje.

Palabras clave: interruptor digital; calentador eléctrico; circuito conexión eléctrica.

* Trabajo tutorado por el Dr. Reineris Montero Laurencio.
Recibido: 2 febrero 2016 / Aceptado: 13 marzo 2017.

Prototype of digital switch for electric heaters of the residential sector in Cuba

Abstract: A digital device was implemented that allowed the automatic disconnection of fixed heaters according to the relation of a determined volume of water and the desired temperature by the user. This reduced the connection time of the heaters, which leads to significant energy savings to the country. Its base of operation was determined by the results of different tests, from which mathematical expressions were obtained that govern the control system of the electronic circuit. The digital switch is made up of low cost components so it can be easily purchased and assembled.

Key words: Digital switch; electric heater; Circuit electrical connection.

Introducción

Los calentadores de agua eléctricos son instrumentos muy utilizados en la vida cotidiana. Varias propuestas existen para el diseño y mejoría de calentadores eléctricos de agua de uso doméstico (Milton & Tapa, 2007; Moreno, 2016; Quevedo & Mancheno, 2016).

En Cuba el ahorro de energía eléctrica constituye una necesidad debido a que el 53 % del combustible utilizado en la generación de electricidad es de importación (Padrón, 2012). Por otra parte, el ahorro de energía está estrechamente vinculado con el respeto ambiental al dejar de emitirse a la atmósfera gases de efecto invernadero. También se debe mencionar la necesidad de disminuir el consumo de los recursos energéticos no renovables, los cuales cada día disminuyen las reservas probadas. Uno de los sectores más preocupantes respecto al incremento de la demanda lo constituye el sector residencial, representando el 41,3 % del total de la energía eléctrica producida en el año 2014, según datos de la Oficina Nacional de Estadísticas e Información.

El comportamiento del consumo de las cargas eléctricas en el sector residencial, en Cuba, depende de múltiples factores, fundamentalmente del tiempo de trabajo, las condiciones técnicas, la marca del equipo y la manera en que se utilizan los mismos. En particular para el calentamiento del agua para el baño, según el censo de población y vivienda de 2012, en Cuba existen 446 142 calentadores fijos o duchas eléctricas, de los cuales aproximadamente el 8,8 % están defectuosos. De esta cantidad se encuentran en buen estado 406 829 y el 80 %, aproximadamente, corresponden a calentadores fijos, que significan una cifra de 325 463 (ONEI, 2014).

Según los datos anteriores y tomando como referencia la existencia de unos 3 882 424 de viviendas en el país, se considera que en el 10,5 % de estas se utilizan los calentadores fijos para calentar el agua. Este dispositivo no posee ningún control para su operación, por lo que su uso estará en dependencia de las consideraciones de cada usuario. En la totalidad de los casos siempre operan un tiempo adicional, por lo que parte de su energía se desperdicia. El objetivo del trabajo es realizar un estudio para formalizar las pérdidas que ocurren en estos casos y proponer un prototipo de control digital de bajo costo, que garantice el calentamiento de agua hasta lograr los requerimientos del usuario, considerando diferentes volúmenes de agua a calentar.

El calentamiento de agua en Cuba generalmente se realiza en envases de diferentes volúmenes, esto está dado porque en la mayoría de las viviendas no existe el servicio permanente de distribución de agua. La situación obliga a que el calentamiento de agua para el baño se realice con calentador fijo en forma de serpentín (Argota, 2013).

Los calentadores fijos se entregaron como parte de las acciones de la Revolución Energética y constituyen un dispositivo cuyo uso depende de los volúmenes de agua a calentar y de la cantidad de personas que conviven en los hogares. Para realizar las pruebas, en relación a determinar el tiempo y la energía utilizada para calentar el agua, se utilizó un multímetro digital de gancho con enlace a computadora para medir la potencia y la energía activa. También se empleó un multímetro digital de mesa para medir la temperatura del agua mediante un sensor.

Argota (2013) realizó una encuesta para determinar a qué temperatura preferían las personas calentar el agua para el baño. Utilizando un termómetro se fueron identificando los valores deseados para cada caso y se obtuvo una temperatura promedio de 36,6 °C. A partir de este valor de temperatura deseado se realizaron varios ensayos de calentamiento de agua para diferentes volúmenes, correspondientes a 8, 10, 13, 15 y 18 L, los cuales están en correspondencia con los embaces más frecuentes utilizados por la población.

A medida que aumenta el volumen de agua a calentar, desde 8 L hasta 18 L, el tiempo que dura el proceso hasta llevar la temperatura del agua a 36 °C se ajusta a un comportamiento lineal determinado por la ecuación:

$$t = 29.729V + 96.465$$

Donde:

t: tiempo de calentamiento;

V: volumen a calentar.

La relación entre el volumen de agua a calentar y la energía que se consume se puede apreciar en el modelo de regresión que describe el proceso, que se corresponde con la expresión matemática de un polinomio de tercer orden:

$$P = 0.0001V^3 - 0.0061V^2 + 0.1058V - 0.4803$$

Características técnicas de la propuesta de interruptor digital para calentadores

Tomando como referencia los resultados de la modelación matemática, en referencia al tiempo que se requiere para calentar los diferentes volúmenes de agua, se propone un interruptor digital basado en microcontrolador para evitar el uso irracional de la energía eléctrica durante la operación de los calentadores. Este dispositivo está compuesto por: un circuito de rectificación de onda completa, transformador, cuarteta de diodos y filtro, estabilizador de voltaje LM7805 a 5 V de corriente continua, un microcontrolador PIC16f688, visualizador LCD LM016L, tres botones para el control y un circuito de fuerza integrado por un mosfet 2sk135 y un relé. En la Figura 1 se aprecia el montaje de la propuesta en un protoboard.

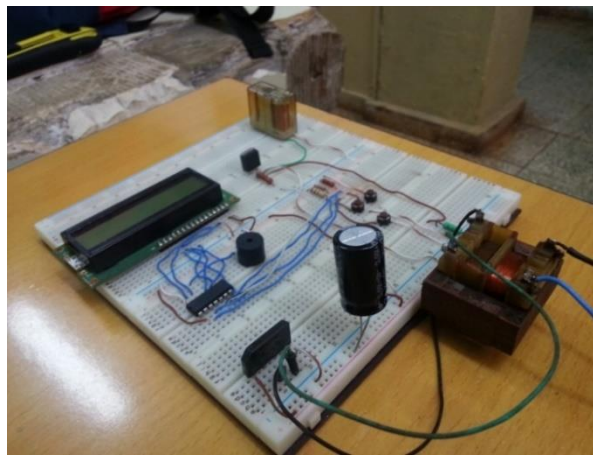


Figura 1. Montaje del prototipo en protoboard.

Para comprobar de manera simulada el funcionamiento del dispositivo antes de su montaje se utilizó la aplicación PROTEUS, específicamente la herramienta ISIS, que favorece la corrida virtual del circuito electrónico (Figura 2).

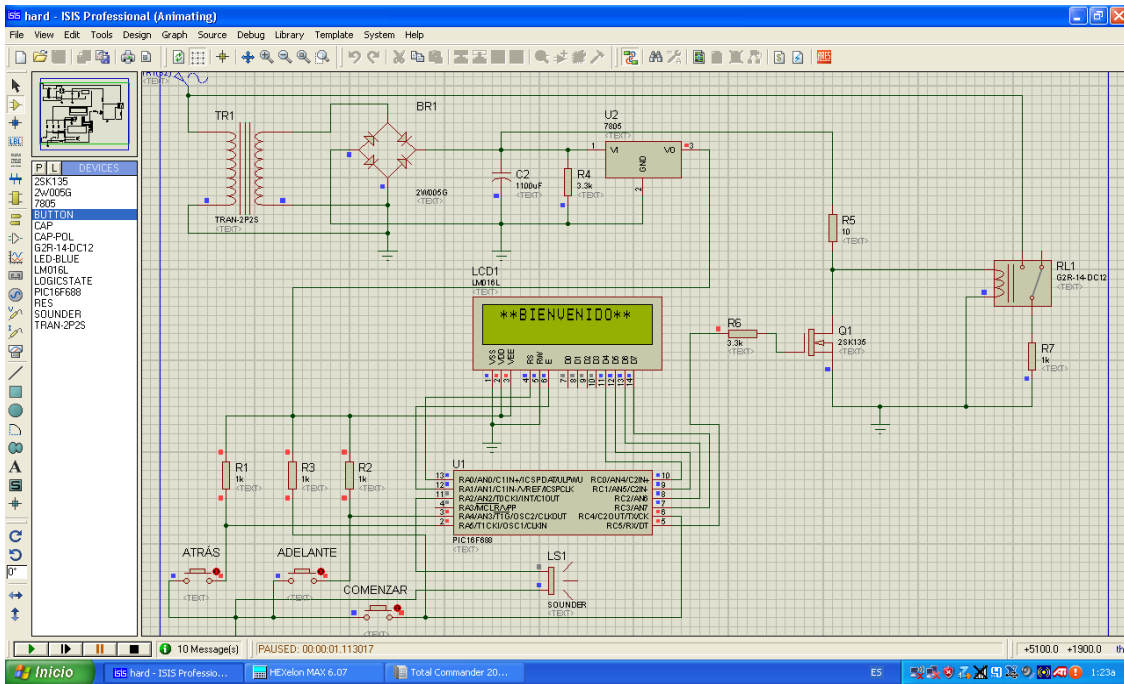


Figura 2. Diseño digital del prototipo.

Para lograr la coordinación entre las operaciones del dispositivo se programó el microcontrolador utilizando el software PIC C COMPILER, el cual se puede observar en la Figura 3.

```

5  int32 y,s,a;
6  void alarma()
7  {
8    for(a=0;a<200;a++)
9    {
10     output_high(pin_A2);
11     delay_us(588);
12     output_low(pin_A2);
13    }
14  }
15  void main()
16  {
17   lcd_init();
18   output_high(PIN_C5);
19   lcd_putc(" **BIENVENIDO**\n");
20   delay_ms(1500);
21   lcd_putc("\n Control de \n");
22   lcd_putc(" Temperatura ");
23   delay_ms(1500);
24   inicio:
25   x=8;
26   lcd_putc("\nCapacidad Envase\n");
27   printf(lcd_putc," %D Litros",x);
28   while (input(pin_C4))
29   {
30     if(!input(pin_A4))
31     {
32       alarma();
33       if(x==18)

```

Figura 3. Ventana del software PIC C COMPILER.

La programación consistió en implementar el modelo matemático que relaciona el volumen de agua y el tiempo requerido para calentarla hasta 36,6 °C (ver anexo).

Con el dispositivo se puede seleccionar el volumen de agua a calentar y el microprocesador realiza el control de la operación del relé para la desconexión del calentador. También se incluye una alarma sonora para indicar el fin del proceso de calentamiento.

Posibilidades de implantación e impacto de la tecnología sobre la población objetivo

En Cuba se cuenta con las empresas necesarias y adecuadas relacionadas con la electrónica, que permitan producir de manera seriada el dispositivo, lo cual favorece la disminución de los costos de fabricación y en correspondencia el costo de venta en el mercado nacional.

La Tabla 1 muestra la cantidad de energía eléctrica que se consume adicionalmente si el proceso de calentamiento de agua se incrementa porcentualmente entre un 10 % y un 50 %. Estos son fenómenos reales que ocurren a diario en las viviendas.

Tabla 1. Energía adicional que se consume en calentamiento de agua en referencia a los diferentes volúmenes y para 36 °C.

Tiempo	Volumen (l)				
	8	10	13	15	18
	Energía activa kWh				
Tiempo base	0,037	0,087	0,127	0,137	0,144
+10 %	0,0407	0,0957	0,1397	0,1507	0,1584
+20 %	0,0444	0,1044	0,1524	0,1644	0,1728
+30 %	0,0481	0,1131	0,1651	0,1781	0,1872
+40 %	0,0518	0,1218	0,1778	0,1918	0,2016
+50 %	0,0555	0,1305	0,1905	0,2055	0,216

Tomando como referencia los datos de la Tabla 1 se puede calcular con base en la cantidad de viviendas en Cuba que utilizan el tipo de calentador analizado, el promedio de energía activa que se deja de consumir si se utilizara el interruptor digital propuesto. El valor promedio es de 10,4 MWh/día considerando: los tiempos adicionales, los diferentes volúmenes de agua y que por vivienda se caliente una sola vez agua (Tabla 2). Con esta energía se podría dar servicio de electricidad a 60 viviendas durante un mes a partir de que el consumo promedio es de unos 172 kWh.

Tabla 2. Análisis de la energía que se consume en el país para diferentes tiempos adicionales de operación del calentador

Tiempo	Volumen (l)				
	8	10	13	15	18
	Energía activa total (kWh) para las viviendas que usan calentadores				
+10 %	1 204	2 832	4 133	4 459	4 687
+20 %	2 408	5 663	8 267	8 918	9 373
+30 %	3 613	8 495	12 400	13 377	14 060
+40 %	4 817	11 326	16 534	17 835	18 747
+50 %	6 021	14 158	20 667	22 294	23 433

Por otra parte, cuando el calentador se daña, generalmente se usa como alternativa calentar agua en las hornillas eléctricas, esto requiere que para tener el mismo volumen de agua caliente se necesite calentar unos 2,5 L de agua, consumiéndose aproximadamente un 43 % más de energía, independientemente que se use para ello un jarro debidamente tapado.

Presupuesto de fabricación

Para conformar un presupuesto de la fabricación del dispositivo solo se tuvo en cuenta el precio de los componentes en el mercado. Este listado de precio se resume en la Tabla 3. El monto total de este presupuesto asciende a 11,18 €.

Tabla 3. Precio de los componentes en el mercado

Componente	Cantidad	Importe en (€)
PIC 16F688	1	1,81
L78M05	1	0,11
Resistencia	5	0,02
MOSFET	1	0,19
Relay	1	1,25
Push Button	3	0,02
Speaker	1	1,09
LCD LM016L	1	3,75
Filtro	1	0,23
Transformador	1	1,42
Placa para montaje	1	0,32
Encapsulado y otros	1	0,85

Esbozo de un plan de distribución y venta

La distribución y las ventas se realizarían mediante las tiendas recaudadoras de divisas existentes en todo el país. Se considera que el precio del dispositivo puede quedar en unos 5,00 € a partir de la producción masiva y la compra al por mayor de los componentes. La compra de un dispositivo es posible amortizarla en un periodo menor a un año, en correspondencia con la cuantificación del ahorro y el dinero que se deja de pagar al respecto.

La distribución y venta del interruptor permite ahorrar 5,6 MWh/día. Según Padrón (2012) esto equivaldría a dejar de consumir aproximadamente unos 2 004 MWh/año, lo cual significa dejar de consumir unas 801 600 t de petróleo de mediana calidad y dejar de emitir a la atmósfera 1 643 280 kg de CO₂.

Conclusiones

Se formalizaron las expresiones matemáticas que relacionan al tiempo y la energía eléctrica requerida en relación a calentar diferentes volúmenes de agua para el baño. El interruptor digital propuesto es de fácil implementación, a partir del diseño que se presenta. Con su puesta en práctica y mediante una adecuada distribución, venta y utilización el país podría ahorrar unos 5,6 MWh/día, cifra que se considera la mitad del ahorro calculado en este trabajo.

Referencias bibliográficas

ARGOTA, D. 2013: Estudio del comportamiento de las cargas electricas del sector residencial en Cuba. *Ciencia & Futuro* 3(3): 11-25.

MILTON, L. R. & TAPA, J. A. 2007: *Construcción de un programador para un calentador de agua doméstico (termostato)*. Tesis de grado. Escuela Politécnica Nacional. Quito. 124 p. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1369>

MORENO, W. P. 2016: *Diseño e implementación de un calentador eléctrico digital instantáneo de agua de uso doméstico*. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Nacional. Quito. 141 p. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/14207>

PADRÓN, E. 2012: Sutiles pérdidas de potencia, cuantiosas pérdidas de energía. En: Séptimo Taller Internacional de Energía y Medio Ambiente. Cienfuegos, 12-14 abril.

ONEI. 2014: Informe Nacional. Censo de Población y Viviendas Cuba 2012.

QUEVEDO, L. F. & MANCHENO, C. G. 2016: *Diseño y pruebas de una bobina para un calentador de agua por inducción*. Tesis de grado. Universidad Técnica Salesiana. Ecuador. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12132>

Anexo

Programación del microcontrolador

```
#include <16f688.h>
#include <flex_lcd.c>
#include <delay.h>
int x,i,m;
int32 y,s,a;
void alarma()
{
for(a=0;a<200;a++)
{
output_high(pin_A2);
delay_us(588);
output_low(pin_A2);
}
}
void main()
{
lcd_init();
output_high(PIN_C5);
lcd_putc(" **BIENVENIDO**\n");
delay_ms(1500);
lcd_putc("\f Control de \n");
lcd_putc(" Temperatura ");
delay_ms(1500);
inicio:
x=8;
lcd_putc("\fCapacidad Envase\n");
printf(lcd_putc," %D Litros",x);
while (input(pin_C4))
{
if(!input(pin_A4))
{
alarma();
if(x==18)
x=18;
else
{
x++;
lcd_putc("\fCapacidad Envase\n");
printf(lcd_putc," %D Litros",x);
delay_ms(500);
}
}
}
if(!input(pin_A5))
{
alarma();
if(x==8)
x=8;
else
{
x--;
lcd_putc("\fCapacidad Envase\n");
printf(lcd_putc," %D Litros",x);
delay_ms(500);
}
}
}
```

```
    }
  }
}
output_low(PIN_C5);
y=(29.72*x+97.46)*1000;
while(1)
{
  if(y<=1000)
  {
    i=y;
    m=0;
    s=0;
    lcd_putc("\fTiempo d Trabajo\n");
    printf(lcd_putc,"Min/Seg  %D:%Lu",m,s);
    delay_ms(i);
    break;
  }
  else
  {
    m=y/60000;
    s=y%60000;
    if(s<1000)
    {
      s/=10;
      if(s=y-m*60000)
        s=0;
    }
    if(s>=1000)
    {
      s/=1000;
    }
    y-=1000;
    lcd_putc("\fTiempo d Trabajo\n");
    printf(lcd_putc,"Min/Seg  %D:%Lu",m,s);
    delay_ms(1000);
  }
}
output_high(pin_C5);
while(1)
{
  alarma();
  output_low(pin_A2);
  delay_ms(500);
  if(!input(pin_A4)&&!input(pin_A5))
  {
    lcd_putc("\f Nueva Tarea\n");
    delay_ms(1500);
    goto inicio;
  }
}
}
```