

Monitoreo de consumo de corriente eléctrica: categorización de electrodomésticos mediante Arduino

M. en ISC. Leonardo Moreno Villalba*, Dr. Adolfo Meléndez Ramírez*, Dr. Jacob Ávila Camacho*



Acerca de los autores...

*Docente de la División de Ingeniería Informática del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, México.

Resumen

En los últimos años, el consumo de energía eléctrica ha tenido un considerable incremento, principalmente en los países en desarrollo, tan solo en México, en el año 2015, según cifras de la SENER (Secretaría de Energía, 2014) el consumo eléctrico fue de 288,232 GWh, lo que representa un aumento del 2.9% respecto al año pasado.

En el acuerdo de París (OCDE/IEA, 2016) que entró en vigor en el año 2016, se establece que la transformación del sector eléctrico debe de ser liderada por las energías renovables, lo cual ha centrado la atención en un nuevo debate sobre el diseño del mercado de la electricidad y la seguridad eléctrica.

Derivado de la importancia del tema tanto a nivel nacional como internacional, el mundo se ha visto en la necesidad de crear nuevos métodos y técnicas que permitan disminuir el consumo eléctrico; una de las herramientas y métodos para ello, son las áreas concernientes a la inteligencia artificial, la cual nos puede proporcionar una nueva forma de medir, analizar, predecir proporcionar recomendaciones que permitan un consumo eléctrico inteligente por parte del llamado consumo residencial. El presente artículo muestra la creación e implementación de un prototipo para el monitoreo del consumo de corriente eléctrica mediante un microcontrolador programable y un sensor de corriente SCT-013, para lo cual se analizaron cinco aparatos eléctricos: foco de 23W, foco de 72W, televisor, refrigerador, y licuadora, que mediante este prototipo se logrará obtener la potencia y corriente de cada uno de ellos; dichos datos se guardaran, se entrenaran mediante una Red Neural (RN), categorizándolos para su posterior uso, es decir si se conecta un determinado aparato eléctrico se sabrá con exactitud cuál es el que se conectó, esto nos permitirá saber qué cantidad de tiempo y que articulo tiene más CE, permitiéndonos tener una visión general de lo que se consume y tomar decisión cual y en qué momento tener apagado o prendido.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, consumo eléctrico, Red Neuronal.

Abstract

Electricity consumption has had a considerable increase, mainly in developing countries, in Mexico alone in 2015 according to figures from SENER (Energy Secretariat, 2014) electricity consumption was 288,232 GWh, representing a 2.9% increase in consumption compared to last year.

The Paris agreement (OECD/IEA, 2016) that came into force in 2016 states that the transformation of the electricity sector must be led by renewable energy, which has focused on a new debate on the design of the electricity market and the electrical safety.

Derived from the importance of this issue both internationally and nationally, it has been seen in the need to create new methods and techniques that allow to reduce electricity consumption, one of the tools and methods that can be used are the areas concerning artificial intelligence, which can provide us with a new way to measure, analyze, predict to provide recommendations that allow intelligent electricity consumption by so-called residential consumption. This article shows the creation and implementation of a prototype using a programmable microcontroller and an SCT-013 current sensor, in which 5 electrical appliances were analyzed: 23W focus, 72W focus, TV, refrigerator, and blender, which by means of this prototype will obtain the power and current of each of them, such data will be saved, trained by a Neural Network (RN), categorizing them for later use, that is, if a certain electrical device is connected it will know exactly what is the that was connected, this will allow us to know how much time and which article has more CE, allowing us to have an overview of what is consumed and make decision which and when to have off or on.

Keywords: Artificial Intelligence, Power Consumption, Neural Network.

Introducción

La electricidad es uno de los puntos fundamentales del desarrollo industrial y del bienestar de los individuos. La Reforma Energética de 2013 en México tiene entre



sus objetivos el acceso incluyente a la energía. Varias razones motivan dichos fines, aunque de acuerdo con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) si bien la cobertura actual en México es del 98%, la inconformidad de la población ha aumentado, debido a los altos costos de la energía eléctrica, y a esto le sumamos que las tarifas de CFE no son competitivas internacionalmente, puesto que aun con el subsidio otorgado por el gobierno, éstas son 25% mayores a las de Estados Unidos de América, sin embargo, respecto a las tarifas residenciales, las cuales están subsidiadas, son 24% menores al equivalente en Estados Unidos. Se debe tomar en cuenta que en México la demanda agregada de energía eléctrica asciende a 206,129 GWh y el consumo residencial representa el 25.41% de las ventas de energía eléctrica, es decir, el 88.52% de usuarios de energía. Esta concentración de usuarios en uno de los sectores, es propicia para la implementación de nuevas técnicas, metodologías e investigaciones que permitan analizar, medir, predecir y recomendar posibles estrategias para disminuir el consumo eléctrico.

En los últimos años se ha incrementado el costo del Consumo Energético (CE), y la CFE señala que los movimientos en los precios de la electricidad seguirán determinados por el precio de los combustibles, además la firma S&P Platts advirtió que este año seguirá subiendo el costo de los energéticos, debido al incremento del combustible para la generación eléctrica[1].



Aprovechando la tecnología actual, el presente artículo desarrolla un prototipo de sistema para el monitoreo del consumo eléctrico[2] a nivel doméstico, mediante un microcontrolador programable y un sensor invasivo SCT-013; el objetivo es elegir cinco objetos de consumo eléctrico del hogar: un foco de 23 Watts (W), un foco de 72 Watts (W), una computadora, una licuadora y un refrigerador. Se tomaron un determinado número de muestras para cada uno de ellos, que posteriormente serán plasmados en el monitor serie (interfaz de microcontrolador), en este caso potencia (P) y corriente (I); dicha información será guardada en un formato XLS y, consecutivamente, con dichos datos se entrenó una Red Neuronal (RN), y se caracterizó cada objeto, para establecer los puntos pico de CE, de manera que pudiera brindarnos información, y así el consumidor esté en condiciones de tomar consciencia de la cantidad de energía que consume por cada aparato.

Marco Teórico

A) Corriente alterna

Se denomina corriente eléctrica a la energía cuya magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de la onda de la corriente alterna es una onda senoidal, puesto que consigue una transmisión más eficiente de la energía [3].

B) Valor eficaz o rms

El valor eficaz de una corriente periódica, es la corriente de cd que suministra la misma potencia promedio a una resistencia que la corriente periódica[4].

$$I = \sqrt{\frac{I_m^2}{T} \int_0^T \frac{1}{2}(1 + \cos 2\omega t) dt} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} \quad 1$$

C) Potencia

Es la variación respecto del tiempo de entrega o absorción de la energía, medida en

watts (W); esta relación se escribe como[5]:

$$P = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = VI \quad 2$$

En el SI la unidad de potencia es el watt (W), llamada así por el inventor inglés James Watt; un watt es igual a un joule por segundo ($1W=1J/s$), también son de uso común el kilowatt ($1kW=10^3W$).

D) Sensor SCT-013

Los sensores de la serie SCT-013 trabajan como transformadores, la corriente que circula por el cable que deseamos medir, actúa como el Devanado primario (D_p) de una espira, e internamente tiene un devanado secundario (D_s), que dependiendo el modelo, puede tener hasta más de 2000 espiras. Al circular corriente por el devanado primario, causa el efecto de inducción magnética, y produce una intensidad de corriente en el D_s , proporcional a la que pasa por el D_p [2]. La fórmula matemática de los transformadores se denomina relación de transformación:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{V_p}{V_s} \quad 3$$

Donde V_s es la tensión en el secundario y N_s es el número de espiras en el secundario; V_p y N_p corresponden al primario[4] (véase Figura 1).

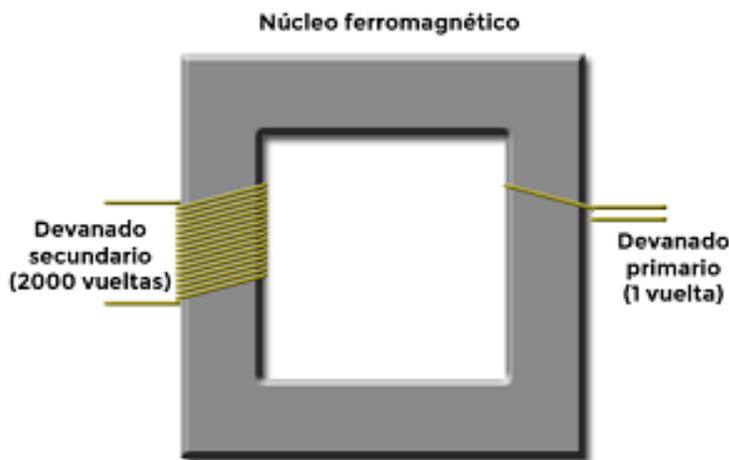


Figura 1

Componentes de un transformador.

E) Referencia de tensión analógica (AREF)

Sirve para cambiar la tensión tomada como referencia por el conversor analógico digital, mediante la función AnalogRef, considerando que la tensión externa no superara un cierto valor de tensión, y se proporciona a través del Pin Aref[6]. La resistencia de carga no rebasando la tensión de Arduino (5V), se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R_{carga} = \frac{AREF}{I_{pico}} \quad 4$$

F) Matlab

Combina un entorno de escritorio adaptado para el análisis iterativo y los procesos de diseño con un lenguaje de programación enfocado en matemáticas simples y complejas[7].

G) Redes Neuronales Artificiales

Son redes interconectadas masivamente en paralelo a elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real, de igual modo que lo hace el sistema nervioso biológico[8].

H) La neurona Artificial

La neuronal artificial es una unidad procesadora con cuatro elementos funcionales: receptor, sumador, activador y salida (véase Figura 2).

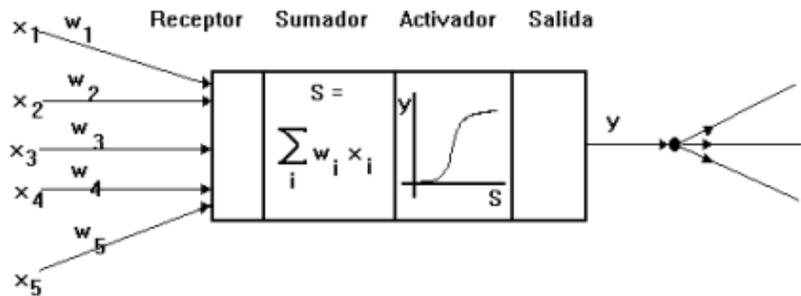


Figura 1

Esquema Red Neuronal[9]

La actividad lineal de \$X_i\$ está dada por la función,

$$F(X_i, W_i) = \sum_{j=1}^n W_{ij} * X_j \quad 5$$

Que dependen de los pesos \$W_i\$, para incluir un valor umbral \$\vartheta_i\$ para la neurona \$X_i\$; se considera una neurona auxiliar de valor \$X_0=-1\$ y se conecta a \$X_i\$ con peso \$\vartheta_i\$.

$$U(W, X_i) = \sum_{j=1}^n W_{ij} * X_j - W_{i0} * \vartheta_i \quad 6$$

I) Funciones sigmoidales

Funciones monótonas acotadas, que dan una salida gradual no lineal.

a) La función logística de 0 a 1:

$$F_c(x) = \frac{1}{1 + e^{-cx}} \quad 7$$

b) La función tangente hiperbólica de -1 a 1

$$F_c(x) = \tanh(cx) \quad 8$$

Desarrollo

El prototipo a desarrollar consta de los siguientes elementos: protoboard, resistencias: dos de 470 k Ω , dos de 330 Ω , una de 100 Ω , una pila de 9 volts, un condensador de 10 μF , un sensor de corriente eléctrica SCT-013, un microcontrolador ATmega328p y cables puente.

Cálculo de la resistencia

El objetivo de esta parte es obtener una resistencia que nos permita leer el voltaje de la corriente que pasa por el sensor SCT-013. Inicialmente, para este propósito se necesita conocer la potencia aproximada del electrodoméstico, y se obtiene de las características técnicas del mismo, en este caso el frigorífico, donde la potencia es $P=1000\text{W}$. Posteriormente, la corriente se calcula despejando I por medio de la ecuación 2, y sustituyendo $V=220$ volts la $I=4.54\text{A}$; luego se obtiene la corriente pico I_p , despejando I_p de la ec1 $I_p = 6.42\text{A}$ consiguientemente se calcula la corriente pico en el devanado secundario I_s , despejando I_s de la ec3. Se obtiene que $I_s = 0.00321\text{A}$

Resolución con el máximo valor de la entrada analógica

La placa utilizada es Arduino uno, el voltaje máximo que podemos medir en una entrada analógica es de 5V; utilizando la ley de Ohm, se ajusta la resistencia para obtener un voltaje entre 2.5 y -2.5; para obtener el valor de la resistencia de carga se ocupa la ec4., dando como resultado $R_{carga} = 778 \Omega$, motivo por el cual se utilizaron dos resistores de 330 Ω y uno de 100 Ω , dando un total de 760 Ω (véase Figura 2), lo cual evita que nos salgamos del límite de voltaje establecido, ya que podemos dañar la placa de desarrollo con el sensor SCT-013.

Establecer rango de voltaje en Arduino

La corriente I es una onda sinusoidal, que en este caso varía de 2.5V a -2.5V; sin embargo, Arduino no lee voltajes negativos, para modificar la señal y que pase a estar en el rango de 0V a 5V, se le añade un offset en DC a nuestra señal, para lo cual se usa un condensador de 10 μF y dos resistores de 470 k Ω .

Implementación del prototipo de medidor de consumo de corriente eléctrica

El diagrama del prototipo, tiene la siguiente configuración: tres resistores conectados en serie con un valor de 760 Ω , el extremo derecho de dicho resistor está conectado a un extremo del sensor de corriente SCT-013, y además está conectado al polo negativo de un condensador 10 μF ; el otro extremo del resistor está conectado al otro extremo del sensor de corriente, y a su vez, con la entrada A0 del microcontrolador ATmega328p. Por otro lado, están los dos resistores de 470 Ω conectados en serie, uno de sus extremos está conectado al positivo de una pila de 9 volts, y a su vez conectado al polo positivo del condensador; el otro extremo del resistor se conecta al polo negativo de la pila (véase Figura 3).

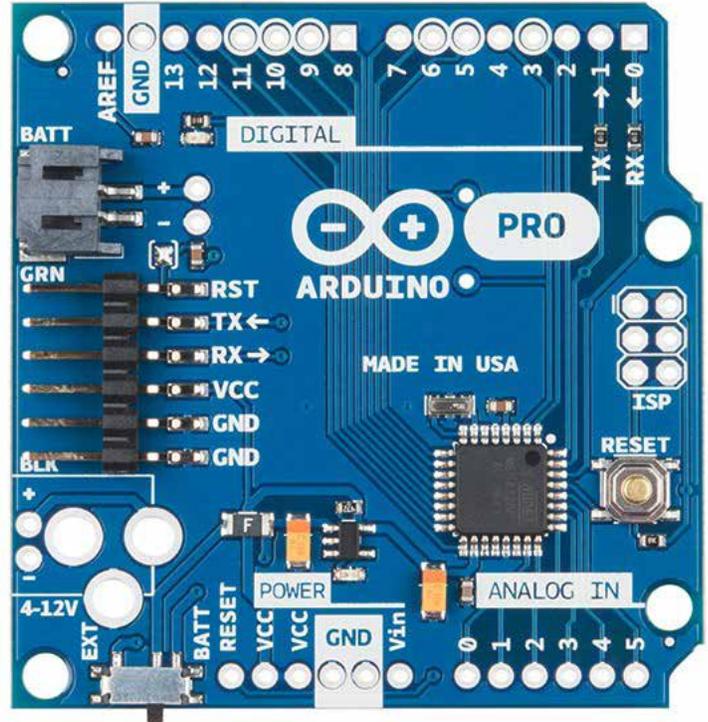
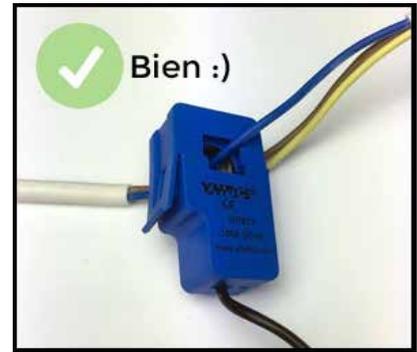
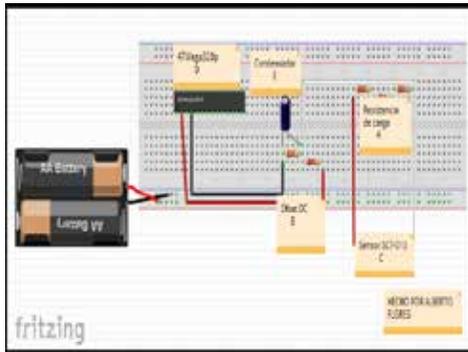


Figura 3

Diagrama del prototipo de medidor de consumo eléctrico.



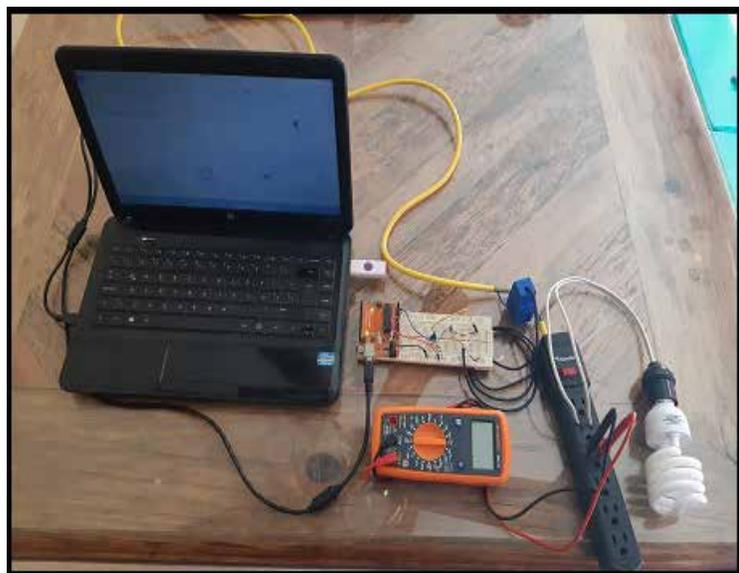
Conexión del prototipo

Se requieren algunos elementos para la conexión: multicontacto, computadora, Arduino, cable USB con entrada para Arduino y PC. Uno de los extremos del cable del multicontacto se pelará 10 cm, de modo que se vean los tres cables internos que tiene; el sensor de corriente SCT-013 debe abrazar un solo cable, en este caso el de color azul, de lo contrario si se abraza los dos cables, un flujo magnético compensará al otro flujo y se anulará (véase Figura 3).

Uno de los extremos del cable de dicho sensor se corta y se pela, quedando dos cables, uno de color rojo y el otro de color blanco, los cuales serán conectados al Protoboard (véase Figura 2C), además la computadora se conecta a la placa Arduino mediante el cable USB; posteriormente, se conecta el electrodoméstico al multicontacto, quedando el prototipo listo para probarlo (véase Figura 4).

Figura 4

Prototipo consumo de energía con Arduino.



Programación del SCT-013 con Arduino

En la PC, previamente se instaló el software de Arduino, y la librería Emonlib, permitiéndonos medir el consumo energético, y con el siguiente código obtendremos la potencia que está consumiendo el electrodoméstico (véase Figura 5).

```

// Include Emon Library
#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor energyMonitor;
// Voltaje de nuestra red eléctrica
float voltajeRed = 118.0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  // Iniciamos la clase indicando
  // Número de pin: donde tenemos conectado el SCT-013
  // Valor de calibración: valor obtenido de la calibración
  energyMonitor.current(0,1.85);
}
void loop()
{
  // Obtenemos el valor de la corriente eficaz
  // Pasamos el número de muestras que queremos tomar
  double Irms = energyMonitor.calcIrms(1484);
  // Calculamos la potencia aparente
  double potencia = Irms * voltajeRed;
  // Mostramos la información por el monitor serie
  Serial.print("Potencia = ");
  Serial.print(potencia);
  Serial.print("   Irms = ");
  Serial.println(Irms);
}

```

Figura 5

Código en Arduino del consumo eléctrico.

Extracción de datos de los electrodomésticos

Al conectar el Arduino con la PC, en automático se cargan el Arduino y el puerto com, en este caso se carga el puerto com3; en el lado superior izquierdo se selecciona el icono *verificar*, posteriormente el icono *subir*, subsiguientemente se oprime botón prendido del multicontacto en el monitor serie, ahí aparecen los datos de potencia y energía, dichos valores dependen del electrodoméstico conectado. Hasta este punto, los datos de potencia y corriente son diferentes al realizar el cálculo de forma teórica con la ec2, por lo que mediante un multímetro se obtiene el valor real de voltaje y el valor de calibración; este procedimiento se repetirá hasta que la potencia y corriente coincidan tanto en la parte teórica como en la práctica, y esto se realizará con cada uno de los aparatos eléctricos para obtener la calibración correcta.

Los datos obtenidos se derivaron de los cinco aparatos eléctricos: foco de 23W, foco de 72W, licuadora, refrigerador, y televisión. Para cada uno de ellos se tomaron 700 muestras, con tres variaciones: conectado sin prender, conectado prendido, y al conectar; cada uno de estos valores se guardó en una hoja de Excel.

Entrenamiento de valores mediante Red Neuronal

Una vez que ingresamos en Matlab, creamos una Red Neuronal (RN) mediante el comando *nprtool* en el command Window; seleccionamos el archivo en Excel para ingresar los inputs y targets, en este caso el archivo input se llama IL1 y TL, respectivamente; oprimimos el botón *siguiente*, y por default la RN nos da 70% entrenamiento, 15% validación, 15% testeo; luego oprimimos *Next* y seleccionamos *entrenar*; oprimimos *Next*, al terminar dicho entrenamiento, seleccionamos matriz de Confusion para ver si seguimos el entrenamiento, en este caso nos ha entrenado satisfactoriamente.

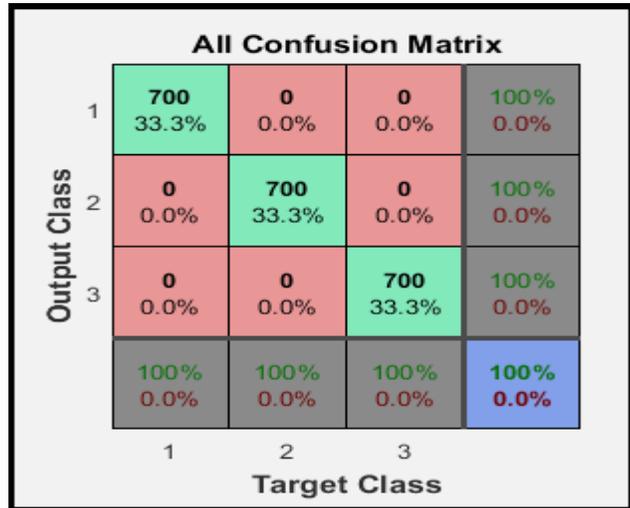


Figura 6

Matriz de Confusión.

Como se muestra la Figura 6, en cada uno de los valores aparece un porcentaje en cero, tanto en falsos positivos como en falsos negativos, lo cual nos indica que los valores introducidos han sido entrenados satisfactoriamente.

IV RESULTADOS

Los resultados obtenidos son los pesos y Bias, respectivamente, siendo los siguientes:

| | | |
|--|---|---------------------------------------|
| [-12.2474; 32.7762; 13.9966; -14; -14; -14; -14; -14.0001; 14.0227; -13.0586] | [15.7249; -31.1463; -7.7816; 4.6667; 1.5556; -1.5556; -4.6667; -7.7777; 10.8659; -14.9462] | [-4.2535; -0.031688; -0.028205] |
| Pesos 1 | Bias 1 | Bias 2 |

[-3.6567 -17.0085 1.4057 -1.4763 -1.5754 -1.6388 -2.693 -2.6467 1.505 3.29;
-0.27698 -1.0189 -0.7028 0.73568 0.97209 0.73446 0.49933 1.8904 -1.7748 0.57242;
-0.91989 17.0017 0.6558 -0.4654 -0.20482 0.53167 -0.17192 0.83345 -0.33978 0.72418]

Pesos 2

Según el esquema (véase Figura 7), se tiene una entrada, diez capas ocultas, tres capas ocultas de salida y una de salida.

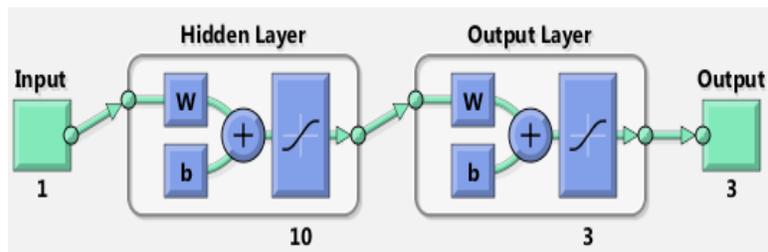


Figura 7

Esquema Red Neuronal propuesto.

Supongamos que introducimos el valor de 22.78 en la Red Neuronal, el desarrollo sería el siguiente:

$$22.78*(-12.24)-12.24+22.78*(32.77)-32.77+22.78*(13.99)-13.99+22.78*(-14)-(-14)+22.78*(-14)-(-14)+22.78*(-14)-(-14)+22.78*(-14)-(-14)+22.78*(-14.0001)-(-14.0001)+22.78*(14.022)-(14)+22.78*(13.058)-(-13.056)=-39.58$$

Aplicando la función de activación sigmoidea se tiene lo siguiente:

$$f(-39.58) = \frac{1}{1 + e^{-(-39.58)}} = 7.4899$$

Si redondeamos el valor a 7 según nuestra la tabla de valores, corresponde a un foco de 23W prendido.

Tomemos otro valor, por ejemplo 185 en la Red Neuronal, y el desarrollo sería el siguiente:

$$185*(-12.24)-12.24+185*(32.77)-32.77+185*(13.99)-13.99+185*(-14)-(-14)+185*(-14)-(-14)+185*(-14)-(-14)+185*(-14)-(-14)+185*(-14.0001)-(-14.0001)+185*(14.022)-(14)+185*(13.058)-(-13.056)=-83.004$$

Aplicando la función de activación sigmoidea se tiene lo siguiente:

$$f(-83.004) = \frac{1}{1 + e^{-(-83.004)}} = 10.774$$

Redondeando el valor a 10 según nuestra la tabla de valores, corresponde a un televisor prendido.

Conclusiones

Las conclusiones se darán desde la creación del prototipo, el guardado de datos en Excel para cada uno de los electrodomésticos, el entrenamiento en Matlab por medio de una RN, y finalizando con el entrenamiento de cada uno de los electrodomésticos.

El sensor SCT-013 es funcional, ya que es no invasivo y por tal motivo no hay necesidad de hacer algún tipo de cableo, lo que evita el riesgo de exponer nuestra integridad física, además de brindarnos datos exactos y precisos. Por otro lado, la desventaja del sensor, es que hay que ir calibrando para cada uno de los aparatos eléctricos, es decir si se tuviesen que obtener para 30 electrodomésticos, se tendría que calibrar para cada uno de ellos, cabe mencionar que si no tenemos un multímetro para calibrarlo se deberá hacerlo de forma manual hasta quedar ajustada nuestra potencia y corriente.

También se tiene que considerar para cada aparato eléctrico tiene tres diferentes variaciones: cuando está conectado pero no prendido, cuando está conectado y prendido, y a la hora de prender. De lo anterior se desprende lo siguiente: cuando queda conectado sin prender, hay potencia, es decir existe un Consumo Eléctrico (CE) mínimo; cuando está conectado y prendido, hay potencia, mostrando el CE ocupado diariamente en los hogares, y cuando se prende el multicontacto se genera una potencia mayor a la normalmente consumida por un electrodoméstico, y tardan unos minutos en restablecerse, implicando que durante esos minutos, el consumo es mayor, lo cual significa más CE del normal. Se concluye que cuando el aparato eléctrico genera una potencia grande, nos conviene mantenerlo prendido; por el contrario, los de potencia baja se pueden prender y apagar, intentando ahorrar CE sin preocuparnos de consumir más.

Los resultados en el entrenamiento fueron exitosos para cada uno de los elementos, en el caso de la licuadora, se realizaron 600 iteraciones con una época, la matriz de confusión marcó cero falsos positivos y cero falsos negativos, tomando en cuenta que el número de elementos da un total de 2,100 muestras; en el caso de los focos de 23W y 72W, el resultado casi fue el mismo, se tuvieron 45 y 76 iteraciones respectivamente con una época cada uno, la matriz de Confusion marcó 20% de falsos positivos y 35% de falsos negativos, lo cual implicó reentrenarla, quedando en 2% de falsos positivos y 5% de falsos negativos, teniendo un 93% de aceptación; el refrigerador, dio un total de 50% de falsos positivos y falsos negativos, con 877 iteraciones, por lo que se reentrenó tres veces más, dando un 15% de falsos positivos, 10% de falsos negativos, un 75% de aceptación en la matriz de Confusion, y en el caso de la televisión, se realizaron 75 iteraciones, en el primer entrenamiento dio 0% de falsos positivos y 0% de falsos negativos, logrando una aceptación del 100% en la matriz de Confusion.

En resumen, cada vez que se introduzca una potencia cercana al tipo de electrodoméstico, será posible determinar qué tipo de electrodoméstico es y el estado en el que se encuentra; cabe mencionar que eso depende de cada aparato, ya que depende de la marca, calidad, y antigüedad; es decir, se pueden homogenizar los electrodomésticos para no ser entrenados una y otra vez, sin embargo es pertinente hacer el entrenamiento con cada uno de los mismos.

En términos generales las conclusiones, son las siguientes:

Cualquier aparato eléctrico se puede entrenar teniendo los parámetros de potencia y corriente, para predecir qué aparato se está ocupando y por consiguiente tomar una decisión acertada de apagar dicho electrodoméstico, evitando generar un elevado consumo eléctrico.

Trabajos a Futuro

Mediante el prototipo, se tomarán muestras de al menos 20 aparatos eléctricos, para extraer los valores de potencia y corriente vía wifi, guardarlos en un servidor de Bases de Datos, posteriormente entrenarlos mediante una Red Neuronal, y a través de un dispositivo móvil, medir el consumo energético en tiempo real de cada electrodoméstico.



Bibliografía

- [1] Televisa.NEWS, "N Televisa.NEWS", 26 Junio 2018. [En línea]. Disponible en: <https://noticieros.televisa.com/historia/conoce-nueva-pagina-cfe/>. [Último acceso: 28 Noviembre 2018].
- [2] L. Del Valle, "Programar Fácil", 2018. [En línea]. Disponible en: <https://programarfácil.com/>. [Último acceso: 20 Septiembre 2018].
- [3] Wikipedia.org, "Corriente alterna", [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_alterna. [Último acceso: 11 Diciembre 2018].
- [4] A.K. Charles y S. Matthew. (2014). *Fundamentos de circuitos electricos*, Cleveland, Estados Unidos: Mc Graw Hill.
- [5] Y. Freedman y S. Zemansky. (2009). *Física Universitaria*, California, Santa Barbara: Addison-Wesley.
- [6] L. Llamas, "Ingeniería, informática y diseño", Septiembre 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/entradas-analogicas-en-Arduino/>. [Último acceso: 11 Diciembre 2018].
- [7] Matlab, "MatLab- Mathworks-Matlab & Simulink", [En línea]. Disponible en: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. [Último acceso: 14 Diciembre 2018].
- [8] C.A. Ruiz y M.S. Basualdo. (2015). *Redes Neuronales: Conceptos básicos y aplicaciones*. Argentina.
- [9] F. Lara Rosano. *Fundamentos de redes neuronales artificiales*. UNAM. CDMX.
- [10] L.D.J. Ramos Gutiérrez, "La generación de la energía eléctrica en México," *Tecnología y Ciencias del agua*, vol. III, N° 4, pp. 197-211, 2012.
- [11] J. Joseph Escobar, X. Martí, N. Reol, C. Castellás, Y. Larruy y P. Chiva. *Electricidad, el recorrido de la energía*. IBERDROLA, Madrid, España.
- [12] Ecogestos, "Consejos sencillos para ahorrar energía eléctrica en casa", 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecogestos.com/consejos-sencillos-para-ahorrar-energia-electrica-en-casa/>. [Último acceso: 24 Noviembre 2018].
- [13] A. Solís, "Forbes México," 21 Febrero 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/tarifas-electricas-seguiran-oscilando-en-mexico-cfe/>. [Último acceso: 24 Noviembre 2018].
- [14] K. Ojo, Y. González, E. E. Cano y C. A. Rovetto, "Portal de Revistas UTP", Danny Murillo, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1836/0>. [Último acceso: 04 Diciembre 2018].