

# Clasificación de electrodomésticos a través del monitoreo de consumo de energía eléctrica

Francisco Jacob Ávila Camacho  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES  
TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ECATEPEC  
Ecatepec, Estado de México, México  
fjacobavila@tese.edu.mx

Leonardo Miguel Moreno Villalba  
División de Ingeniería Informática  
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec  
Ecatepec, Estado de México, México  
lmoreno@tese.edu.mx

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

En el acuerdo de Paris (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 que tiene este tema tanto a nivel internacional como a nivel nacional se ha visto en la necesidad de crear nuevos métodos y técnicas que permitan disminuir el consumo eléctrico, una de las herramientas y métodos que pueden ser usados son las áreas concernientes a la inteligencia artificial, la cual podría proporcionar una nueva forma de medir, analizar, predecir y proporcionar recomendaciones que permitan tener un consumo eléctrico inteligente por parte del llamado consumo residencial. El presente artículo muestra la creación e implementación de un prototipo mediante un microcontrolador programable y un sensor de corriente SCT-013, en el cual se analizaron 5 aparatos eléctricos: foco 23W, foco 72W, televisor, refrigerador, y licuadora, que mediante este prototipo se obtuvieron, la potencia y corriente de cada uno de ellos, dichos datos se guardaron para entrenar 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 artículo tiene más CE, permitiendo tener una visión general de lo que se consume y tomar la decisión de cual y en qué momento tenerlo apagado o encendido.

**Keywords**—Consumo eléctrico, redes neuronales, arduino, electrodomesticos, inteligencia artificial

## I. 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 esto debido a los altos costos de la energía eléctrica. Y si a esto se le suma que las tarifas de CFE no son competitivas internacionalmente, puesto que aun con el subsidio otorgado por el gobierno estas son un 25% mayores a las de Estados Unidos. Pero con respecto a las tarifas residenciales en México las cuales están subsidiadas, son 24% menores al equivalente en Estados Unidos. Teniendo 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, pero representa el 88,52 % de usuarios de energía. Siendo esta concentración de usuarios uno de los sectores 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), señala la CFE que los movimientos en precios de la electricidad seguirán determinados por los combustibles, además la firma S&P Platts advirtió que seguirán aumentando los precios energéticos en este año debido al incremento del combustóleo para la generación eléctrica [1]. Aprovechando la tecnología actual, el presente artículo desarrolla un prototipo con un microcontrolador programable y por medio de un sensor invasivo SCT-013 para medir el consumo eléctrico [2], el objetivo es elegir 5 objetos de consumo eléctrico del hogar (foco 23 Watts (W), foco de 72 Watts (W), computadora, licuadora, refrigerador), se tomaron

un determinado número de muestras para cada uno de los objetos antes mencionados que posteriormente serán mostrados 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 dichos datos mediante una Red Neuronal (RN) se entrenó, y se caracterizó cada objeto, para establecer los puntos pico de CE, para de esta forma brindar brindar información y así el consumidor podrá tomar consciencia de la cantidad de energía que está consumiendo por cada aparato..

## II. MARCO TEÓRICO

### A. Corriente alterna

Se denomina a la corriente eléctrica en la que la 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<sup>3</sup>W).

### 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 (Dp) de una espira, e internamente tiene un devanado secundario (Ds) 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 Ds proporcional a la que pasa por el Dp [2]. La fórmula matemática de los transformadores denominada relación de transformación:

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

Donde Vs es la tensión en el secundario y Ns es el número de espiras en el secundario; Vp y Np corresponden al primario [4] (Véase Fig. 1).

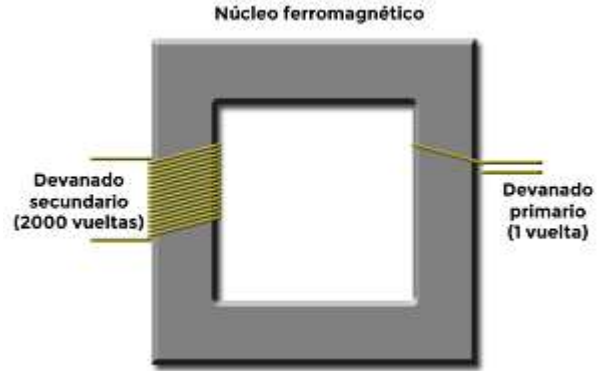


Fig 1. Componentes de un transformador.

### E. Referencia de tensión analógica (AREF)

Esta sirve para cambiar la tensión tomada como referencia por el conversor analógico digital, mediante la función AnalogRef, tomando como referencia 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 de elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo 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, salida (véase Fig. 2).

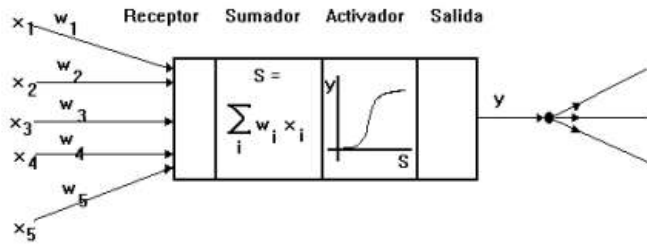


Fig. 2. Esquema Red Neuronal [9].

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  $\theta_i$  para la neurona  $X_i$ , se considera una neurona auxiliar de valor  $X_0 = -1$  y se conecta a  $X_i$  con peso  $\theta_i$ .

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

### 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

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

## III. DESARROLLO

El prototipo a desarrollar consta de los siguientes elementos: protoboard, resistencias; 2 de 470k $\Omega$ , 2 de 330 $\Omega$ , 1 de 100 $\Omega$ , pila de 9 volts, 1 condensador de 10 $\mu$ F, sensor de corriente eléctrica SCT-013, microcontrolador ATmega328p y cables puente.

### A. 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  $P=1000W$ . Posteriormente se calcula la corriente despejando  $I$  por medio de la ecuación 2, y sustituyendo  $V=220$  volts la  $I=4.54A$ , ahora se obtiene la corriente pico  $I_p$ , despejando  $I_p$  de la ec1  $I_p=6.42A$ , consiguientemente se calcula la corriente pico en el devanado secundario  $I_s$ , despejando  $I_s$  de la ec3. Se obtiene que  $I_s=0.00321^a$ .

### B. 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 implementó 2 resistores de 330  $\Omega$  y 1 de 100  $\Omega$  dando un total de 760  $\Omega$  (véase Figura 2) y esto evitará que se salga del límite de voltaje establecido ya que se podría dañar la placa de desarrollo con el sensor SCT-013.



Fig. 3 Sensor de corriente SCT-013

### C. Establecer rango de voltaje en Arduino

La corriente  $I$  es una onda sinusoidal en este caso varía de 2.5V a -2.5V, sin embargo Arduino no lee voltajes negativos, para modificar la señal y pase a estar en el rango de 0V a 5V, se le añade un offset en DC a nuestra señal, la implementación es un condensador de 10 $\mu$ F y 2 resistores de 470k  $\Omega$ .

### D. Prototipo de monitoreo de consumo de energía eléctrica

El diagrama del prototipo, tiene la siguiente configuración: 3 resistores conectados en serie con un valor de 760  $\Omega$ , 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 $\mu$ F, 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 2 resistores de 470k  $\Omega$  conectados en serie, uno de sus extremos está conectado al positivo de una pila de 9volts, y a su vez conectado al polo positivo del condensador, el otro extremo del resistor se conecta al polo negativo de la pila (véase Fig. 2).

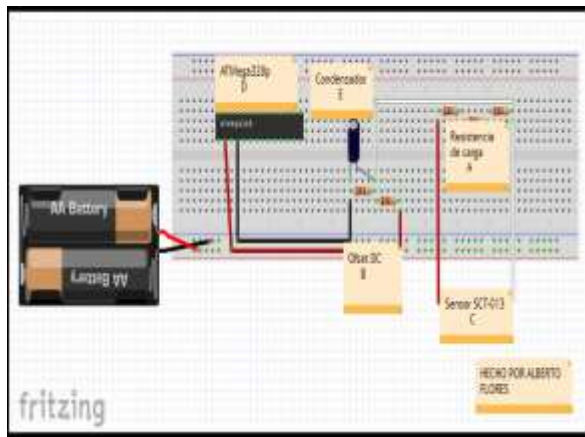


Fig. 4. Diagrama de prototipo consumo eléctrico.

### E. Conexión del prototipo

Se requieren algunos elementos para la conexión: multicontacto, computadora, arduino, cable USB con entrada para arduino y pc. El multicontacto de uno de los extremos se pelara 10cm, a modo que se vean los 3 cables internos que tienen, 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 compensara al otro flujo y se anulará (véase Fig. 4).

Dicho sensor se en uno de sus extremos se corta y se pela quedando 2 cables, 1 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 cable USB, posteriormente se conecta el electrodoméstico al multicontacto, quedando el prototipo listo para probar (véase Fig. 5).

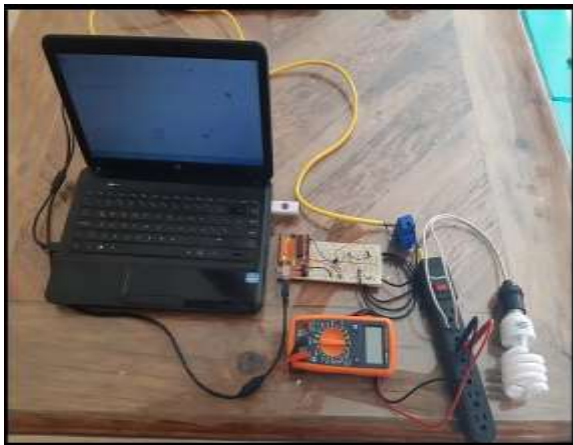


Fig. 5. Prototipo consumo de energía con arduino.

### F. 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 Fig. 6).

```
// 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);
}
```

Fig. 6. Código en Arduino consumo eléctrico.

### G. Entrenamiento de red neuronal

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 botón siguiente, por default la RN nos da 70% entrenamiento, 15% validación, 15% testeo, 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.

Los datos obtenidos se realizaron para 5 aparatos eléctricos: foco 23W, foco 72W, licuadora, refrigerador, y televisión. Para cada uno de ellos se tomaron 700 muestras, con 3 variaciones conectado sin prender, conectado prendido, y al conectar, cada uno de estos valores se guardó en una hoja de Excel.

All Confusion Matrix				
Output Class	1	2	3	
1	700 33.3%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
2	0 0.0%	700 33.3%	0 0.0%	100% 0.0%
3	0 0.0%	0 0.0%	700 33.3%	100% 0.0%
	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%
	1	2	3	Target Class

Fig. 7. Matriz de Confusion.

Como se muestra la figura 7 en cada uno de los valores aparecen un porcentaje en cero tanto en falsos positivos como falsos negativos, lo cual nos indica que los valores introducidos han sido entrenados satisfactoriamente.

En el caso anterior descrito se realizó para la licuadora, el proceso anterior se realiza para cada electrodoméstico faltante, televisión, foco 23W, foco 72W, refrigerador.

#### IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos que son de nuestro interés son los pesos y Bias respectivamente siendo los siguientes:

$$f(-83.004) = \frac{1}{1 + e^{-(-83.004)}} = 10.774 \quad (9)$$

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

#### V. 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 dicho sensor es invasivo y por tal motivo no hay necesidad de hacer algún tipo de cableo no corriendo el riesgo de exponer nuestra integridad física, además nos brinda 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 tendrá que calibrar para cada uno de ellos, cabe mencionar que si no tenemos un multímetro para calibrarlo se tendrá que calibrar de forma manual hasta quedar ajustado nuestra potencia y corriente.

También se tiene que considerar para cada aparato eléctrico 3 diferentes variaciones, cuando esta conecta y 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, finalizando cuando se prende el multicontacto se genera una potencia mayor de la normal proporcionada por un electrodoméstico tardan unos minutos en reestablecerse, 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 de los de potencia baja, el cual se puede 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 1 época, la matriz de confusión marco 0 falsos positivos y 0 falsos negativos, tomando en cuenta que el número de elementos dan un total de 2100

muestras, en el caso del foco de 23W y 72W para este caso el resultado casi fue el mismo, se tuvieron 45 y 76 iteraciones respectivamente con 1 época cada uno, la matriz de Confusión marco 20% falsos positivos y 35% falsos negativos, lo cual implicó reentrenarla quedando 2% 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, se reentrenó 3 veces más dando un 15% de falsos positivos, 10% falsos negativos, dando un 75% de aceptación en la matriz de Confusión, en el caso de la televisión se realizaron 75 iteraciones, y en el primer entrenamiento dio 0% falsos positivos y 0% de falsos negativos, dando aceptación del 100% en la matriz de Confusión.

Finalizando que cada vez que se introduzca una potencia cercana al tipo de electrodoméstico nos podrá determinar qué tipo de electrodoméstico y el estado en el que se encuentra, cabe mencionar que eso depende de cada electrodoméstico ya que depende de la marca, calidad, es decir se puede 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:

Se pueden entrenar cualquier aparato eléctrico teniendo los parámetros de potencia y corriente, así predecir que aparato se está ocupando y por consiguiente tomar una decisión acertada de apagar dicho electrodoméstico evitando generar elevado Consumo Eléctrico.

Mediante el prototipo tomar muestra de al menos 20 aparatos eléctricos, 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.

#### REFERENCES

- [1] Televisa.NEWS, «N Televisa.NEWS,» 26 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://noticieros.televisa.com/historia/conoce-nueva-pagina-cfe/>. [Último acceso: 28 Noviembre 2018].
- [2] L. Del Valle, «Programar Facil,» 2018. [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/>. [Último acceso: 20 Septiembre 2018].
- [3] Wikipedia.org, «Corriente alterna,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente\\_alterna](https://es.wikipedia.org/wiki/Corriente_alterna). [Último acceso: 11 Diciembre 2018].
- [4] A. K. Charles y S. Matthew, Fundamentos de circuitos electricos, Cleveland, Estados Unidos: Mc Graw Hill, 2004.
- [5] Y. Freedman y S. Zemansky, Fisica Universitaria, California, Santa Barbara: Addison-Wesley, 2009.
- [6] L. Llamas, «Ingeniería, informatica y diseño,» 2014 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/entradas-analogicas-arduino/>. [Último acceso: 11 Diciembre 2018].
- [7] Matlab, «MatLab- Mathworks-Matlab & Simulink,» [En línea]. Available: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. [Último acceso: 14 Diciembre 2018].
- [8] C. A. Ruiz y M. S. Basualdo, «Redes Neuronales: Conceptos basicos y aplicaciones,» Argentina, 2015.
- [9] F. Lara Rosano, «Fundamentos de redes neuronales artificiales,» UNAM, CDMX.

- [10] L. d. J. Ramos Gutiérrez, «La generacion de la energía eléctrica en México,» Tecnología y Ciencias del agua, vol. III, nº 4, pp. 197-211, 2012.
- [11] J. Joseph Escobar, X. Martí, N. Reol, C. Castellás, Y. Larray y P. Chiva, «Electricidad, el recorrido de la energía,» IBERDROLA, Madrid, España.
- [12] Ecogestos, «Consejos sencillos para ahorrar energia electrica en casa,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.ecogestos.com/consejos-sencillos-para-ahorrar-energia-electrica-en-casa/>. [Último acceso: 24 Noviembre 2018].
- [13] A. Solis, «Forbes México,» 21 Febrero 2018. [En línea]. Available: <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]. Available: <http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/memoutp/article/view/1836/0>. [Último acceso: 04 Diciembre 2018].