

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla



Facultad de ciencias de la Computación

Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

Tesis presentada para obtener el grado de:
Doctor en Ingeniería del Lenguaje y del Conocimiento

Presenta

Blanca Nydia Pérez Camacho

Asesores de Tesis

Dr. Juan Manuel González Calleros

Dr. Gustavo Rodríguez Gómez

Noviembre 2021

Resumen

En el presente documento se presenta una propuesta metodológica de los módulos que conforman el desarrollo del diseño de un sistema de análisis del consumo eléctrico. La metodología se desarrolla según se identifica va el flujo de datos de consumo desde que son adquiridos hasta que son mostrados con fines de retroalimentación al usuario, este flujo de datos se alinea a la arquitectura hardware de los sistemas de demanda; así, la propuesta metodológica abarca desde la obtención de los datos hasta la presentación de una propuesta de estado de los dispositivos que caracterizan al contexto de uso de implementación del sistema.

El objetivo de un sistema de análisis del consumo eléctrico es el de hacer que el consumo eléctrico del contexto de uso en el cual se encuentra implementado se realice de manera eficiente. El contexto de uso se define por el usuario, el ambiente y los dispositivos que caracterizan el escenario de implementación.

La propuesta metodológica se divide en tres módulos, capa de sensores, capa física y el módulo de predicción. En el módulo de la capa de sensores son adquiridos o generados los datos de consumo, a los cuales también se les llama datos primarios, de los dispositivos y almacenados en vectores de estado y de consumo, donde el número de parámetros del vector corresponde al número de dispositivos identificados en el contexto de uso.

En el módulo de la capa física se desarrolla la aplicación que sirve para facilitar la interacción entre el usuario y el sistema, el usuario a través de esta provee de la información que contextualiza el escenario mediante la identificación de los dispositivos. Es a través de esta aplicación que el usuario es retroalimentado visualmente con respecto al consumo eléctrico que se está llevando a cabo. En este módulo es donde llegan los datos primarios para ser procesados, agrupados y enviados al módulo de predicción.

El módulo de predicción es el módulo en el cual se implementan las técnicas o procedimientos que sirvan para los fines de la implementación del sistema, y cuyos resultados son enviados a la aplicación para ser presentados al usuario. En este módulo se usa la función definida por el modelo matemático del consumo del sistema para procesar los datos en función de esta y encontrar una solución óptima alineada al objetivo de la implementación.

Abstract

The proposal of a development methodology that serves for the design of a demand system is presented. The design of the methodology is based on the sequence of the data flow and on the analysis of the parts that make up the architecture of a demand system. The proposed methodology ranges from obtaining the data to presenting a proposal for the status of the devices that characterize the context of use of the system implementation.

A demand system is made up of a sensor architecture and four modules. There are four modules that make up a demand system, and these are: programming, logical control unit, prediction, and monitor. The sequence of data flow in a demand system goes through several layers, which in order they are: sensors, physics, information fusion, behavior awareness, digital, and meta.

The objective of a demand system is to make electricity consumption be carried out efficiently according to the context of use in which it is implemented. The context of use is defined by the user, the environment and the devices that characterize the deployment scenario. The stage is characterized by the user, as this is the person who locates the electronic devices that are on the stage.

The methodological proposal for the design of a demand system is made up of three blocks, which are called: sensors, physical and prediction. In the Sensor block are the modules of the Sensor and Monitor Architecture. The Physical block is made up of the modules: Intelligent Environment and fusion of information; The Intelligent Environment is made up of the prediction sub-modules and the logical control unit. The Prediction block is made up of the simulation and optimal state search modules.

The data flow that is determined from following the proposed methodology is as follows: primary data on the electrical consumption of the devices are obtained either from a sensor architecture (if one is available) or by generating Synthetic consumption data (which is generated according to the design criteria of the system developer), this data reaches the intelligent environment module and is grouped by the fusion module and sent to the digital and behavioral awareness module. Prior to a mathematical formulation of the system implementation objective, an objective function is defined, the data that has been generated up to this point enters the meta layer to be processed in the function that searches for the optimal state defined by the objective function. The results are presented to the user as a proposal of measures to be taken so that he makes an efficient use of the consumption of electrical energy.

The function that performs the search for the optimal state is selected according to the type of data being handled, being for continuous power consumption a type of data, so this type of data

defines a wide search space that is planned to be run through a heuristic technique to find the optimum that reduces electrical consumption.

If the user complies with the recommendations of the demand system, then the costs of production and consumption of electricity will be significantly reduced.

Contenido

Resumen	i
Abstract	ii
Lista de Figuras	vi
Lista de Tablas	viii
Lista de Códigos y Pseudo-código	ix
Capítulo 1 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Justificación	3
1.5 Viabilidad	4
1.6 Aportaciones	5
1.7 Organización del documento	5
Capítulo 2 Revisión de la Literatura	6
2.1 Contexto	6
2.2 Sistema de demanda	6
2.2.1 Flujo de datos en arquitecturas de monitoreo.....	7
2.2.2 Sistemas de gestión de energía en el hogar	7
2.3 Metodología para sistema de gestión de la energía para el hogar	8
2.3.1 Módulo Capa de Sensores	9
2.3.2 Módulo Capa Física	9
2.3.3 Módulo de predicción.....	9
2.4 Literatura relacionada	9
2.4.1 Módulo de la capa de sensores	10
2.4.2 Módulo de la capa física.....	15
2.4.3 Módulo de predicción.....	16

2.5	Resumen del capítulo	18
Capítulo 3	Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico	19
3.1	Módulo Capa de Sensores	19
3.1.1	<i>Fases del desarrollo de un simulador</i>	19
3.1.2	<i>Simulador de perfil de uso de dispositivos</i>	21
3.1.3	<i>Caracterización de dispositivos</i>	23
3.1.4	<i>Simulación. Método Monte Carlo</i>	23
3.2	Módulo Capa Física	31
3.2.1	<i>Ambiente inteligente</i>	31
3.2.2	<i>Submódulo de fusión</i>	40
3.3	Módulo de Predicción	45
3.3.1	<i>Modelado matemático del consumo de los dispositivos</i>	45
3.4	Búsqueda del consumo óptimo	52
3.4.1	<i>Optimización por Cúmulo de Partículas (PSO)</i>	52
3.4.2	<i>PSO aplicado a la búsqueda del consumo óptimo</i>	55
3.5	Resumen del capítulo	56
Capítulo 4	Resultados.....	57
4.1	Módulo Capa de Sensores	57
4.2	Módulo Capa Física	60
4.3	Módulo de Predicción	63
Capítulo 5	Conclusiones.....	64
Glosario	67
Bibliografía	70
Apéndice A	Tablas de dispositivos de uso doméstico, escolar y oficina	78

Lista de Figuras

<i>Fig. 2.1 Flujo de datos en arquitecturas de monitoreo, elaboración propia a partir de (Chen et al., 2017) y (Matei et al., 2017)</i>	7
<i>Fig. 2.2 Arquitectura del Sistema de gestión de energía para el hogar, elaborado a partir de (Huang et al., 2015)</i>	8
<i>Fig. 2.3 Propuesta de un sistema de gestión de la energía para el hogar</i>	8
<i>Fig. 3.1 Fases de simulación</i>	20
<i>Fig. 3.2 Coordenadas ventilador</i>	22
<i>Fig. 3.3 Coordenadas calefactor</i>	22
<i>Fig. 3.4 Coordenadas aire acondicionado</i>	22
<i>Fig. 3.5 Coordenadas lavadora</i>	22
<i>Fig. 3.6 Diagrama de la técnica Aceptación-Rechazo</i>	23
<i>Fig. 3.7 Comparativa de las gráficas FDP original contra las simuladas</i>	24
<i>Fig. 3.8 Modelo de tareas de definición de escenario</i>	31
<i>Fig. 3.9 Clase Dispositivo</i>	32
<i>Fig. 3.10 Diagrama UML Login</i>	33
<i>Fig. 3.11 Diagrama de secuencia CRUD del Usuario</i>	34
<i>Fig. 3.12 Diagrama de secuencia CRUD de Dispositivo</i>	35
<i>Fig. 3.13 Diagrama de secuencia CRUD de Estado</i>	36
<i>Fig. 3.14 Diagrama de secuencia CRUD Reportes</i>	37
<i>Fig. 3.15 Preferencias de visualización</i>	38
<i>Fig. 3.16 Actividades para diseñar la interfaz del usuario</i>	39
<i>Fig. 3.17 Acceso al Sistema</i>	39
<i>Fig. 3.18 Caracterización del escenario</i>	39
<i>Fig. 3.19 Graficación del consumo</i>	40
<i>Fig. 3.20 Diagrama de generación de vectores de estado y consumo</i>	41
<i>Fig. 3.21 Ejemplo de generación de estado y consumo</i>	42
<i>Fig. 3.22 Diagrama del algoritmo PSO, fuente (Soto et al., Ensembles of type 2 Fuzzy Neural Models and their Optimization with Bio-inspired Algorithms for Time Series Prediction, Springer, 2018)</i>	53
<i>Fig. 4.1 Segmento de la matriz de horario</i>	57
<i>Fig. 4.2 Tiempo de encendido de cada uno de los horarios del ensayo 8</i>	57
<i>Fig. 4.3 Consumos en cada uno de los momentos que el dispositivo estuvo encendido</i>	58
<i>Fig. 4.4 Segmento de la matriz de estados</i>	58
<i>Fig. 4.5 Tiempo promedio de uso en cada ensayo</i>	58
<i>Fig. 4.6 Consumo promedio por ensayo</i>	58
<i>Fig. 4.7 Uso promedio general</i>	59
<i>Fig. 4.8 Consumo promedio general</i>	59
<i>Fig. 4.9 Selección e identificación del tipo de habitación</i>	60

Fig. 4.10 Selección de dispositivo 60
Fig. 4.11 Selección del mes 61
Fig. 4.12 Selección de la semana 61
Fig. 4.13 Graficación mensual por habitación 61
Fig. 4.14 Graficación mensual por dispositivo 61
Fig. 4.15 Graficación semanal 61
Fig. 4.16 Extracto del perfil de estado (Lavadora mes septiembre) 62
Fig. 4.17 Extracto del perfil del consumo (Lavadora mes septiembre)..... 62
Fig. 4.18 Consumo real vs consumo propuesto 63

Lista de Tablas

<i>Tabla 2.1</i>	<i>Objetivos de implementación de un Sistema de Gestión de Energía para el Hogar</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2.2</i>	<i>Características de Dispositivos</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2.3</i>	<i>Parámetros para usar en la simulación</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2.4</i>	<i>Clasificación de dispositivos</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 2.5</i>	<i>Componentes y datos a mostrar en una interfaz</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2.6</i>	<i>Clasificación de las técnicas implementadas em un Sistema de Gestión</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3.1</i>	<i>Determinación del número de experimentos por simulación para cada dispositivo</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3.2</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 3.3</i>	<i>Descripción de los parámetros de las ecuaciones de velocidad y posición</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 3.4</i>	<i>Descripción de los parámetros de la ecuación de velocidad</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 4.1</i>	<i>Salida y porcentaje de uso</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4.2</i>	<i>Resultados del análisis</i>	<i>63</i>
<i>Tabla A-4.3</i>	<i>Dispositivo de uso frecuente en oficina y salón</i>	<i>78</i>
<i>Tabla A-4.4</i>	<i>Dispositivos que se usan para videojuegos</i>	<i>80</i>
<i>Tabla A-4.5</i>	<i>Dispositivos de línea blanca</i>	<i>80</i>
<i>Tabla A-4.6</i>	<i>Dispositivos de electrónica</i>	<i>84</i>
<i>Tabla A-4.7</i>	<i>Dispositivos de seguridad</i>	<i>85</i>
<i>Tabla A-4.8</i>	<i>Dispositivos de iluminación</i>	<i>85</i>
<i>Tabla A-4.9</i>	<i>Dispositivos de ventilación y calefacción</i>	<i>86</i>

Lista de Códigos y Pseudo-código

Código 3.1 23
Código 3.2 Cálculo de ensayos por dispositivo 25
Código 3.3 Generación de perfiles..... 28
Código 3.4 Generación de perfiles de Consumo para el conjunto de Dispositivos 42

Pseudo-código 3.1..... 55

Capítulo 1 Introducción

1.1 Antecedentes

Los sistemas de demanda (*SD*) sirven para monitorear, controlar y optimizar la manera en la cual se lleva a cabo el consumo eléctrico de una casa (Ni & Paudyal, 2017). El desarrollo de los sistemas de demanda tiene como propósito monitorear y controlar los dispositivos eléctricos de un escenario, y el de optimizar el uso de los dispositivos para cumplir con objetivos de consumo. Este propósito, se define de acuerdo con los objetivos particulares de implementación.

Para el desarrollo de un *DS* se identifican los factores que influyen en la manera en la cual el usuario hace uso de los dispositivos (B. N. Silva, Khan, & Han, 2018) y las variables que intervienen en la implementación; la identificación, tanto de los factores como de las variables, se hace a partir de la definición de los objetivos del sistema. Generalmente, los objetivos de la implementación de un *DS* se relacionan con uno o varios de los siguientes: maximizar la reducción de costos, minimizar los picos de voltaje, minimizar el consumo o maximizar el confort del usuario (Rahim et al., 2016).

Una vez definidos los objetivos de implementación e identificados los factores y las variables, se procede al diseño del *DS*. En la fase del diseño, también, interviene el contexto de uso (casa, departamento, edificio público, hoteles y edificios), la identificación de los perfiles de uso y consumo eléctrico (Alam, St-Hilaire, & Kunz, 2016).

Los enfoques del diseño pueden centrarse en la interfaz, la técnica optimización del consumo (que da cumplimiento a los objetivos), y/o al control de los dispositivos eléctricos.

1.2 Planteamiento del problema

En años recientes, se ha acrecentado el interés por gestionar la energía eléctrica dentro de los hogares. Una alternativa a la gestión de la energía eléctrica es el desarrollo de los sistemas de demanda [(Javaid, Naseem, et al., 2017), (Yao, Damiran, & Lim, 2017), (Javaid, Hussain, et al., 2017), (S. Kakran & Chanana, 2018; Nguyen & Aiello, 2013; Rasheed et al., 2016), (Beaudin & Zareipour, 2015)].

El desarrollo del sistema puede centrarse en diversos enfoques como son la arquitectura de sensores, desarrollo de interfaces humano-computadora, diseño de sistemas que sirvan para encontrar los patrones de comportamiento de los usuarios con respecto al tiempo-frecuencia de uso de los dispositivos eléctricos y, el cómo encontrar los usos óptimos de los dispositivos. Las técnicas que se implementan en lo que respecta a la búsqueda del estado óptimo de los dispositivos son las

metaheurísticas, algoritmos genéticos, teoría de juegos y programación lineal [(Almusaylim & Zaman, 2018), (D.-M. Han & Lim, 2010), (Hong Tianzhen, D'Oca Simona, Turner William J.N., 2015), (Mocanu, Mocanu, Nguyen, Gibescu, & Liotta, 2017)(Wu, Zhu, Wu, & Ding, 2014)(J. Han, Kamber, & Pei, 2012)].

Se ha observado, hasta el momento de esta redacción, la falta de una metodología que provea de una directriz para el desarrollo de un sistema de demanda. Por lo tanto, tampoco se ha abordado una metodología que este fundamentada en la manera en la cual se lleva a cabo el flujo de los datos del consumo eléctrico. Por lo cual, se considera viable proponer una sistematización del análisis del consumo eléctrico a partir del flujo de datos en un sistema de demanda, el cual se plantea implementar en un contexto caracterizado por el usuario.

Visto desde un enfoque computacional, desarrollar un sistema que permita hacer un consumo eficiente de energía eléctrica se traduce en un problema de búsqueda del consumo óptimo en un espacio masivo. El espacio de búsqueda, para este caso en particular, se encuentra conformado por un conjunto de vectores, donde cada uno de los parámetros que lo conforman identifican el consumo de un dispositivo. Cada uno de los consumos se genera a partir del estado (encendido/apagado) en el que se encuentra cada uno de los dispositivos, y el comportamiento del consumo es variable. El número de parámetros que conforman a cada uno de los vectores corresponde al número de dispositivos que se desean monitorear y controlar.

1.3 *Objetivos*

1.3.1 *Objetivo general*

Describir una metodología para el desarrollo de un sistema de gestión de energía en el hogar para un contexto de uso, derivada a partir del como fluyen los datos en este tipo de sistemas.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Identificar en el estado del arte las fuentes de datos, conceptos clave y evidencias que sustenten la validación de un sistema de manejo del consumo eléctrico.
- Identificar las partes que conforman a un sistema de manejo del consumo eléctrico.
- Clasificar dispositivos eléctricos para modelar contextos de uso.
- Identificar una taxonomía de los dispositivos eléctricos con base en el consumo eléctrico usando descriptores de manejo en contextos de uso particulares.
- Identificar los parámetros que conforman a la variable eléctrica a partir de la caracterización del escenario.
- Implementar un método para el modelado del comportamiento humano en un sistema de demanda.

- Implementar una metaheurística para la búsqueda del estado óptimo de consumo de los dispositivos que caracterizan el contexto de uso.
- Identificar como se comunican los parámetros de consumo, la técnica metaheurística y el usuario.

1.4 Justificación

Según la Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency -IEA) la demanda global de energía es un 35.16% mayor que la del año 2009, el incremento promedio anual del 2009 al 2019 fue de 3.1% y se estima que la demanda incrementara un 2.1% anualmente hasta el 2040 [<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-products> , <https://datos.enerdata.net/electricidad/datos-consumo-electricidad-hogar.html>]. Una quinta parte del consumo global es destinado a cubrir las necesidades de calefacción y ventilación, y un 30% de la demanda es usado en el sector doméstico (Ortiz-velázquez, Bueno, & Arana-Coronado, 2017).

Las fuentes generadoras de electricidad son gas, carbón, petróleo, hidroeléctrica, energía nuclear, y energías renovables [<https://www.iea.org>]. La mayor fuente generadora de electricidad, en 89%, son los combustibles fósiles, que se han visto disminuidas debido a la sobreexplotación.

Las consecuencias que se han observado debido a la crisis en el sector eléctrico son: apagones, caídas de carga, inestabilidad de tensión y caídas en la frecuencia. Los diversos problemas que se han generado a partir del aumento del consumo de energía eléctrica pueden ser resueltos incrementando la capacidad de generación o gestionando el manejo de la energía eléctrica a través de sistemas de manejo (Javaid, Naseem, et al., 2017).

El consumo eléctrico que se hace en una casa depende de seis factores: el clima, la infraestructura, sistema de servicio y uso de la electricidad, la infraestructura eléctrica, el mantenimiento que se le dé a la casa, y el comportamiento del usuario con respecto al uso de los dispositivos (Yan D., O'Brien W., Hong T., Feng X., Gunay H., Tahmasebi F., 2015).

Si, el usuario pudiera participar de manera activa mediante el control y modificación del comportamiento del consumo eléctrico entonces se podría ayudar a controlar los problemas que se han presentado debido al aumento del consumo eléctrico (Yao, Damiran, et al., 2017).

Los problemas de consumo eléctrico se pueden caracterizar colocando las variables de consumo en un vector. Para realizar la búsqueda de una solución al problema de consumo requiere de realizar un procesamiento como algoritmos genéticos (Wu et al., 2014), redes neuronales, árboles de decisión, modelos estadísticos y de agrupamiento (J. Han et al., 2012).

En función a los trabajos relacionados, se ha observado el creciente interés por desarrollar sistemas de manejo de energía para el consumidor ((Javaid, Naseem, et al., 2017), (Javaid, Hussain, et al., 2017), (Mohsin, Javaid, Madani, & Abbas, 2018)), las propuestas son limitadas al sólo

considerar, ya sea el desarrollo e implementación de una arquitectura de sensores, desarrollo de interfaces humano-computadora, modelado del uso de los dispositivos del usuario, o con el uso de metaheurísticas para hacer un uso eficiente de los dispositivos y así cumplir con los objetivos particulares de implementación.

Dadas las características de la naturaleza del problema se requiere realizar una búsqueda de soluciones alternativas que sean adecuadas al contexto, lo cual puede significar: identificar la fuente de los datos, la selección de variables relevantes, y la implementación de técnicas para la búsqueda del consumo óptimo.

El modelo matemático de un sistema de manejo de energía pertenece a un problema NP-Completo (Huang, Tian, & Wang, 2015), y para resolverlo se implementa una técnica heurística para encontrar una solución rápida y cercana al óptimo (Huang et al., 2015).

1.5 Viabilidad

El análisis del consumo eléctrico se ha realizado desde diversos enfoques, como lo son: arquitecturas ubicuas, interfaz humano-computadora, horarios inteligentes, simuladores, modelos, e implementación de técnicas o métodos para la calendarización del uso de los dispositivos [(Javaid, Naseem, et al., 2017), (Yao, Damiran, et al., 2017), (Gajowniczek & Zabkowski, 2015), (Hsu et al., 2017), (Kavousian, Rajagopal, & Fischer, 2015), (Faruqui, Sergici, & Sharif, 2010), (Stragier, Hautekeete, De Marez, Derboven, & Laporte, 2012), (D.-M. Han & Lim, 2010), (Nguyen & Aiello, 2013), (Jahn et al., 2010), (Pedrasa, Spooner, & MacGill, 2010), (B. Zhou et al., 2016) y (Green, 2014)].

A partir del análisis realizado se ha observado que las estrategias de análisis y diseño que se han seguido hasta este momento, su desarrollo no se basa en una metodología que permita que éste se realice de manera estructurada; y que, además, involucre a las partes que conforman a un sistema de manejo de la energía. En las investigaciones que se han realizado con respecto al hacer un manejo adecuado del consumo eléctrico [(Ni & Paudyal, 2017), (Behrens, Schoormann, Bräuer, & Knackstedt, 2018), (Benysek, Jarnut, Werminski, & Bojarski, 2016), (Figueiró, Abaide, Bernardon, & Neto, 2013), (Jargstorf, Vanthournout, De Rybel, & Van Hertem, 2012)] se han identificado parámetros de implementación (clima, infraestructura, Sistema eléctrico, arquitectura, uso del inmueble, preferencias de uso [(Nguyen & Aiello, 2013), (Jahn et al., 2010), (Huang et al., 2015), (Ni & Paudyal, 2017), (Yan D., O'Brien W., Hong T., Feng X., Gunay H., Tahmasebi F., 2015)], parámetros que deben de ser considerados como parte del análisis. Además, se tiene que realizar una comparativa de diversas técnicas para identificar la que dé cumplimiento a los requerimientos extraídos del planteamiento del problema.

1.6 *Aportaciones*

- Taxonomía de un SD de acuerdo con la línea de investigación a partir de la cual se desarrolla.
- Clasificación de los dispositivos eléctricos por su comportamiento de uso y funcionamiento.
- Base de datos teniendo como campos a los descriptores de los dispositivos eléctricos usados comúnmente en casas, oficinas y salón de clases.
- Modelo matemático del escenario a partir de los parámetros eléctricos definidos por la caracterización.
- Modelo del comportamiento humano en un sistema de demanda usando los parámetros eléctricos de caracterización.
- Implementación de una técnica metaheurística para el procesamiento de datos de consumo eléctrico.
- Metodología de análisis del consumo eléctrico implementando una técnica metaheurística.
- Sistema web para la definición de contextos de uso

1.7 *Organización del documento*

El documento de la tesis se estructura de la siguiente manera, en el *capítulo uno* se presentan los antecedentes, la justificación, los objetivos y las definiciones de la terminología a usar en este documento, en el *capítulo dos* se presenta la literatura relacionada a los sistemas de demanda, sistemas de gestión de energía en el hogar. En el *capítulo tres* se describe el proceso de desarrollo de la arquitectura del flujo de datos para un sistema de demanda. Los resultados de las etapas de la arquitectura se encuentran en el *capítulo cuatro*. En el *capítulo cinco* se trata acerca de las conclusiones y del trabajo futuro.

Capítulo 2 Revisión de la Literatura

2.1 Contexto

En el presente capítulo se presenta una revisión de la literatura sobre los conceptos que dan forma a la metodología de desarrollo de un sistema de análisis del consumo eléctrico, esta revisión se divide en tres partes: descripción de un sistema de demanda, propuesta de la metodología del sistema análisis del consumo eléctrico, y la literatura relacionada a cada una de las partes que conforman la metodología que se propone.

2.2 Sistema de demanda

Un Sistema de Demanda (*SD*) tiene el propósito de analizar y controlar el consumo eléctrico de un escenario de manera eficiente, y los objetivos de implementación de un SD pueden ser englobados (Rahim et al., 2016) en:

- Reducir el consumo eléctrico
- Reducir costos
- Reducir los picos de voltaje, y
- Maximizar el confort de los usuarios.

El desarrollo de los SD se centra en las variables de control y en los dispositivos [(T. hoon Kim, Ramos, & Mohammed, 2017),(Javaid, Naseem, et al., 2017),(R & R, 2017),(Sandeep Kakran & Chanana, 2018)], el consumo en edificios (Javaid, Naseem, et al., 2017), el consumo en casas (R & R, 2017), costos [(T. hoon Kim et al., 2017),(Rahim et al., 2016),(Mocanu et al., 2017),(Mohsin et al., 2018),(Fauvel, Claveau, Chevrel, & Fiani, 2018)], arquitectura de sensores (Javaid, Naseem, et al., 2017) y algoritmos de control [(R & R, 2017),(Fauvel et al., 2018)].

Para el desarrollo de la arquitectura de un SD se identifican los objetivos de implementación, las variables y los factores que definen el escenario dónde se ubicará el sistema. Una parte de la arquitectura del SD, es la llamada arquitectura física que se encarga de monitorear y controlar, está parte de la arquitectura monitorea el consumo eléctrico. El consumo eléctrico que realiza cada dispositivo monitoreado se encuentra dentro del rango que el mismo dispositivo permite (consumo máximo y mínimo), estos valores sirven para tomar decisiones en un SD [(Javaid, Hussain, et al., 2017), (Hao & Wang, 2017)].

2.2.1 Flujo de datos en arquitecturas de monitoreo

El flujo de datos en los proyectos donde es considerado el uso de arquitecturas físicas para la adquisición de datos y el monitoreo a través de la web es abstraído a partir de los trabajos (Matei, Anton, Scholze, & Cenedese, 2017), (Chen et al., 2017) y (Madakam, Ramaswamy, & Tripathi, 2015), en estos trabajos se describen las capas y el comportamiento ciber-físico de las arquitecturas que se definen para proyectos de uso de dispositivos y monitoreo a través de la web. Al analizar e interpretar ambas visiones del flujo de datos (capas y comportamiento ciber-físico) se obtiene una visión (ver Fig. 2.1) definida por cinco capas (sensores, física, conciencia del comportamiento, digital y meta) y un módulo (módulo de fusión).

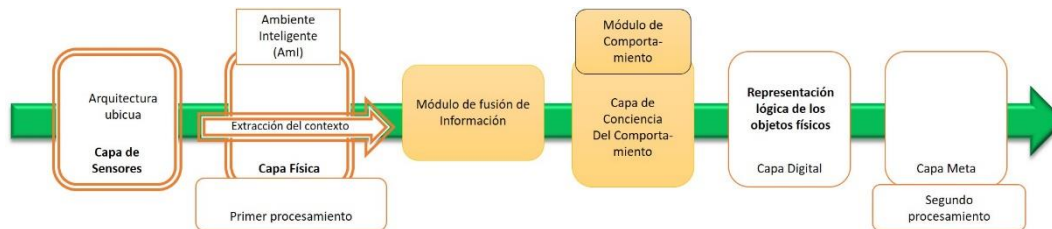


Fig. 2.1 Flujo de datos en arquitecturas de monitoreo, elaboración propia a partir de (Chen et al., 2017) y (Matei et al., 2017)

Los datos son adquiridos en la capa de sensores a través de una arquitectura de sensores. En la capa física se implementa un ambiente inteligente para extraer el contexto y se realiza un primer procesamiento de los datos, después son enviados al módulo de fusión de información. En el módulo de fusión de la información se concentran los datos y luego agrupados para su posterior procesamiento. En la capa de conciencia del comportamiento se reciben los datos del módulo de fusión para buscar patrones de uso y de comportamiento. En la capa digital se crean objetos lógicos que representan a los objetos físicos. Finalmente, en la capa meta se procesan los objetos lógicos de acuerdo con los objetivos particulares de implementación de las arquitecturas de monitoreo.

2.2.2 Sistemas de gestión de energía en el hogar

Desde el punto de vista de diseño de arquitecturas físicas, se desarrollan sistemas de gestión de energía en el hogar. Estos sistemas tiene por objetivo encontrar una solución óptima bajo un conjunto de restricciones, se componen de tres módulos y una unidad de control (Huang et al., 2015) (ver Fig. 2.2).

El primer módulo, es el módulo monitor dónde son capturados los datos de las lecturas de los dispositivos, estos son enviados a la unidad de control. En la unidad de control se realiza una comunicación bidireccional (recibe datos de consumo – envía datos y señales de control) con los módulos de programación, predicción y monitor. En el módulo de predicción, es donde son

Capítulo 2. Revisión de la Literatura

implementados programas para obtener perfiles de uso de los dispositivos, y en el módulo de programación son ingresados los datos de preferencias de uso de los usuarios.

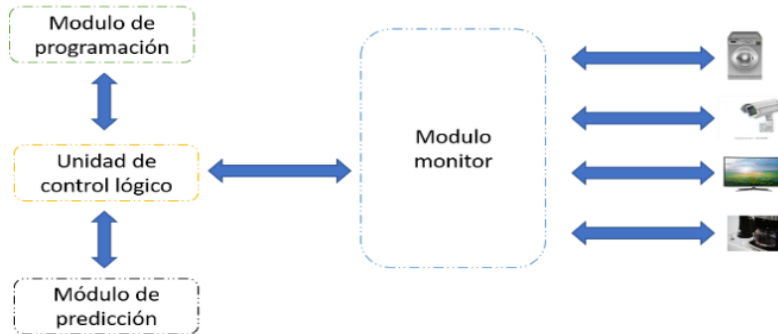


Fig. 2.2 Arquitectura del Sistema de gestión de energía para el hogar, elaborado a partir de (Huang et al., 2015)

2.3 Metodología para sistema de gestión de la energía para el hogar

A partir del análisis del flujo de datos en una arquitectura de monitoreo y de las partes que conforman a un sistema de gestión de energía en el hogar se obtiene una propuesta estructurada para documentar el proceso de desarrollo de una metodología para el análisis del consumo eléctrico (ver Fig. 2.3). Los tres módulos que componen la propuesta son: capa de sensores, capa física y módulo de predicción. La propuesta se hace mediante un diagrama SPEM (Software Process Engineering Meta-Model Specifications).

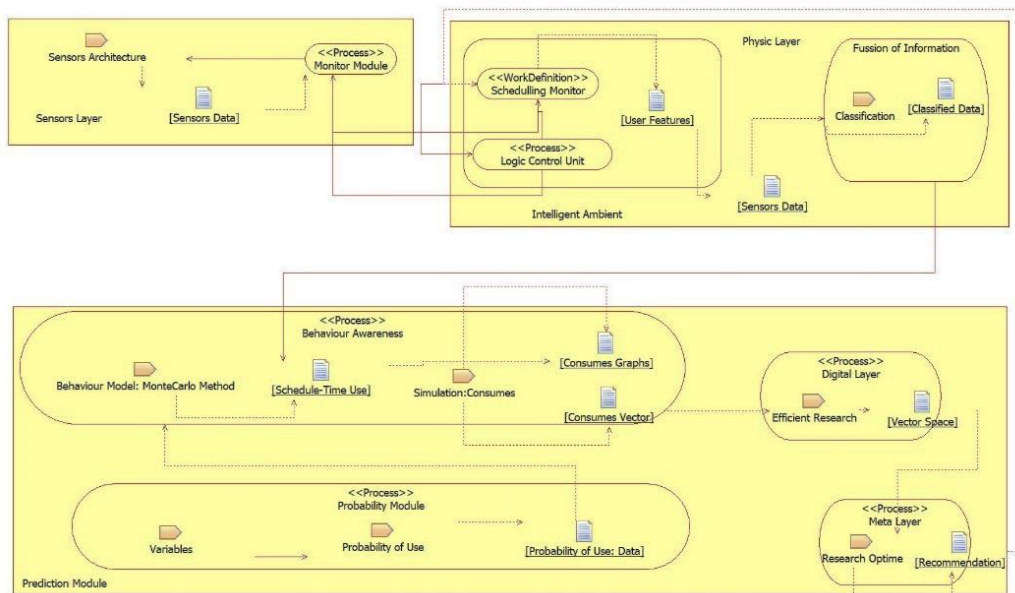


Fig. 2.3 Propuesta de un sistema de gestión de la energía para el hogar

Capítulo 2. Revisión de la Literatura

En la capa de sensores se tiene la arquitectura de sensores, el módulo monitor y la capa de comportamiento, en la capa física están el ambiente inteligente (módulo de programación y la unidad de control lógica) y el módulo de fusión de la información. Y, en el módulo de predicción se encuentran las capas meta, digital y conciencia del comportamiento.

2.3.1 *Módulo Capa de Sensores*

En la capa de sensores se encuentran tanto la arquitectura de sensores, el módulo monitor y la capa de comportamiento. Los datos de entrada, datos primarios, de este módulo son adquiridos por la arquitectura de sensores (la cual puede estar estructurada por dispositivos inteligentes, ya sea medidores inteligentes o sensores ubicuos) y esta arquitectura es controlada por el módulo monitor. Tanto la arquitectura como los dispositivos que se identifican varían de conforme al contexto y al usuario. En la capa de comportamiento se implementan métodos para describir el perfil de uso de los dispositivos. La salida de este módulo son los parámetros de consumo de los dispositivos que están conectados por la arquitectura de sensores, y el consumo está en relación directa con el comportamiento de uso que hace el usuario. Cuando no se tiene una arquitectura de sensores, un módulo monitor y los métodos de la capa de comportamiento, entonces pueden ser simulados para obtener los datos de consumo y generar los perfiles de uso y de consumo.

2.3.2 *Módulo Capa Física*

A la capa física llegan los datos primarios, y por medio de una interfaz se crea un ambiente inteligente, a través de la cual el usuario proporciona los datos de caracterización del contexto. La caracterización se hace mediante la identificación de los dispositivos y la contextualización de estos dispositivos que conforman a cada una de las habitaciones del escenario. Los datos ingresados por el usuario, así como los datos del módulo de la capa de sensores son procesados en el módulo de fusión de la información para ser enviados al módulo de predicción. Los datos que se reciben del módulo de predicción son graficados y presentados en la interfaz.

2.3.3 *Módulo de predicción*

En el módulo de predicción se encuentran las capas digital y meta. En la capa digital se crea un espacio de vectores, cada uno de estos almacena posible consumo de cada uno de los dispositivos, dichos consumos pueden presentarse en el mundo real. Y en la capa meta se implementan métodos que realizan la búsqueda de las soluciones que cumplan con los objetivos de implementación del sistema.

2.4 *Literatura relacionada*

A partir de la literatura, se identifican los objetivos generales de implementación de un sistema de análisis del consumo eléctrico, estos pueden enfocarse para mantener un ambiente confortable para el usuario, reducir el consumo que se hace en el ambiente de implementación, ayudar a reducir los

Capítulo 2. Revisión de la Literatura

costos de consumo y picos de voltaje. En la *Tabla 2.1* se presentan los objetivos de implementación identificados en la literatura, de los cuales al que más se hace referencia es el que se enfoca con dar cumplimiento a las necesidades del usuario, seguido de la reducción del costo y del consumo (las cuáles están directamente relacionadas entre ellas) y por último reducir los picos de voltaje al encender un dispositivo.

Tabla 2.1 Objetivos de implementación de un Sistema de Gestión de Energía para el Hogar

Referencia	Objetivo			
	Confortable	Reducción de consumo	Reducción Costo	Reducción de picos de Voltaje
(Li, Xu, & Zhao, 2015)	X			
(T. hoon Kim et al., 2017)		X		
(Parsa, 2017)	X		X	
(Mohsin et al., 2018)	X			X
(Alam et al., 2016)		X	X	
(Huang et al., 2015)			X	
(Lin & Tsai, 2015)	X			
(Ni & Paudyal, 2017)	X			
(Yao, Damiran, et al., 2017)	X		X	
(Javaid, Naseem, et al., 2017)			X	
(Adika & Wang, 2014a)		X		
(Javaid, Hussain, et al., 2017)	X			
(Nadeem, Javaid, Malik, & Iqbal, 2018)		X		
(Karimi, Khaoula; Krit, 2018)	X			
(Rahim et al., 2016)	X	X	X	X
(Negnevitsky & Wong, 2015)				X
(Kazmi et al., 2017)		X		
(Figueiró et al., 2013)				X
(Barbato, Capone, Chen, Martignon, & Paris, 2013)			X	X
(Zhu, Gao, Hou, & Tao, 2018)	X	X		

A partir de la propuesta de la *Fig. 2.3* y con los objetivos de los sistemas de gestión de energía para el hogar identificados en la *Tabla 2.1*, se obtiene una visión de la metodología de desarrollo de los sistemas de energía para el hogar. Para cada una de las partes que conforman a esta metodología se hace un análisis de la literatura y se muestran en las siguientes secciones.

2.4.1 Módulo de la capa de sensores

En el módulo de la capa de sensores se desarrollan tanto las arquitecturas para la toma de datos como los sistemas de control. Al no contar con una infraestructura hardware se hace una sustitución de estos sistemas por simuladores para proveer tanto de los datos de consumo como de generar perfiles de uso de los dispositivos que caracterizan al contexto de implementación.

En la búsqueda de una base de datos de consumo que pudiera usarse de manera estándar para pruebas de sistemas de gestión de energía para el hogar, se contactó a los Drs. Faruqui y

Capítulo 2. Revisión de la Literatura

Harama, pues una de sus líneas de investigación es el desarrollo de proyectos de este tipo, quienes confirmaron la inexistencia de una base de datos de consumo estándar que pudiera ser usada para tal fin. Siendo necesario crear una base de datos de consumo, para la construcción de esta es necesario identificar las características de los dispositivos. Las características de los dispositivos se muestran en la *Tabla 2.2*, y son: dispositivo, si es frecuente su uso en el contexto de implementación, su consumo promedio, tiempo frecuente de uso y tipo de dispositivo por la manera en la cual funciona.

Tabla 2.2 Características de Dispositivos

Referencia	Caracterización de Dispositivos							Tipo
	Dispositivo	Dispositivos de uso Frecuente	Importancia	Consumo del dispositivo (x Hora)	Tiempo de uso Frecuente (x Día)	Horarios de uso	Categoría (HVAC)	
(Parsa, 2017)		X	X	X				
(S. Kakran & Chanana, 2018)	X	X		X	X		X	X
(B. Silva, Khan, & Han, 2018)					X	X		
(Mohsin et al., 2018)	X				X			X
(Hao & Wang, 2017)	X			X		X		X
(Alam et al., 2016)					X			
(Lin & Tsai, 2015)		X		X	X		X	X
(B. Zhou et al., 2016)	X				X			
(Yao, Damiran, et al., 2017)	X			X	X	X		X
(Nguyen & Aiello, 2013)							X	
(Parsa, 2017)		X	X	X				
(B. Silva, Khan, & Han, 2018)					X	X		

Capítulo 2. Revisión de la Literatura

Tabla 2.2 Características de Dispositivos (continuación)

Referencia	Caracterización de Dispositivos							
	Dispositivo	Dispositivos de uso Frecuente	Importancia	Consumo del dispositivo (x Hora)	Tiempo de uso Frecuente (x Día)	Horarios de uso	Categoría (HVAC)	Tipo
(Mohsin et al., 2018)	X				X			X
(Hao & Wang, 2017)	X			X		X		X
(Alam et al., 2016)					X			
(Lin & Tsai, 2015)		X		X	X		X	X
(B. Zhou et al., 2016)	X				X			
(Yao, Damiran, et al., 2017)	X			X	X	X		X
(Nguyen & Aiello, 2013)							X	
(Pedrasa et al., 2010)					X			
(Javaid, Hussain, et al., 2017)	X			X	X	X		
(Javaid, Naseem, et al., 2017)	X							X
(Lin & Tsai, 2015)					X	X		
(William, Buttitta, Neu, Turner, & Finn, 2017)					X			X
(Fabi, Andersen, Corgnati, & Olesen, 2013)					X			X
(Yan D., O'Brien W., Hong T., Feng X., Gunay H., Tahmasebi F., 2015)					X			X
(Samadi, Saidi, Latify, & Mahdavi, 2020)	X		X	X				

En la *Tabla 2.3* se muestran los parámetros que deben de ser considerados para el desarrollo de un simulador, siendo la principal, el para que se desea usar. Para el caso específico de un sistema de análisis del consumo eléctrico, el simulador se implementa con el objetivo de generar un comportamiento de uso y consumo de los dispositivos que caracterizan al contexto de implementación. En el simulador se usan vectores para almacenar los datos de consumo década uno de los dispositivos que se están contemplando en la misma simulación. Cada uno de los vectores que se construye corresponde a una hora específica en el rango de 0 a 23 (las horas que conforman a un día). También es necesario entender el comportamiento de consumo de los dispositivos de acuerdo con el objetivo

Capítulo 2. Revisión de la Literatura

de implementación del sistema. La función objetivo se obtiene a partir del modelado y de la alineación con el objetivo de implementación.

Tabla 2.3 Parámetros para usar en la simulación

Referencia	Simulación		Modelado del sistema	
	Comportamiento de Uso de los dispositivos	Consumo x Hora	Función Objetivo	Objetivo
(Parsa, 2017)	X	X	Minimizar consumo	Reducción de costos Satisfacción del usuario
(S. Kakran & Chanana, 2018)		X	Minimizar consumo	
(B. Silva et al., 2018)	X			
(Hao & Wang, 2017)		X		
(Huang et al., 2015)		X	Minimizar costo	
(Yao, Shen, & Lim, 2017)		X		
(Yao, Damiran, et al., 2017)		X	Minimizar costo	
(Nguyen & Aiello, 2013)	X			Reducción de costos
(Mohsin et al., 2018)	X			Reducción de de picos de voltaje
(Chen et al., 2017)	X			
(William et al., 2017)	X			Generación de perfiles de uso-consumo
(Fabi et al., 2013)	X			Generación de perfiles de uso

Capítulo 2. Revisión de la Literatura

Tabla 2.3. Parámetros para usar en la simulación (continuación)

Referencia	Simulación		Modelado del sistema	
	Comportamiento de Uso de los dispositivos	Consumo x Hora	Función Objetivo	Objetivo
(Yan D., O'Brien W., Hong T., Feng X., Gunay H., Tahmasebi F., 2015)	X			Generación de perfiles de uso
(Yu, Li, Li, Han, & Zhang, 2015)	X			Generación de perfiles de uso
(Capasso, Lamedica, Prudenzi, & Grattieri, 1994)	Método Monte Carlo			Generación de perfiles de consumo
(Figueiró et al., 2013)	Método Monte Carlo			Generación de perfiles de uso
(Muratori, Roberts, Sioshansi, Marano, & Rizzoni, 2013)	X			Demanda Eléctrica

Para realizar el modelado matemático de consumo del sistema se identifican los tipos de dispositivos de acuerdo con la manera en la que funcionan (véase *Tabla 2.4*). Posteriormente se hace el modelado del consumo eléctrico del conjunto de dispositivos de cada uno de los tipos que caracterizan al contexto para obtener la función que representa el objetivo de implementación, y que será usado como función objetivo en el módulo de predicción.

Tabla 2.4 Clasificación de dispositivos

Referencia	Tipo			
	Flexible	No Flexible	Interrumpible	No Interrumpible
(S. Kakran & Chanana, 2018)	X	X	X	X
(Mohsin et al., 2018)	X	X	X	X
(B. Zhou et al., 2016)			X	X
(Javaid, Naseem, et al., 2017)			X	X
(Yao, Damiran, et al., 2017)	X		X	X
(Nguyen & Aiello, 2013)	X		X	
(Hao & Wang, 2017)			X	X
(Sun, 2017)			X	X

2.4.2 Módulo de la capa física

La implementación de un sistema interactivo [(Alam et al., 2016), (Lin & Tsai, 2015), (T. hoon Kim et al., 2017), (Want, Schilit, & Jenson, 2015), (Almusaylim & Zaman, 2018), (Yao, Shen, et al., 2017)] como parte de un sistema de gestión de energía para el hogar incentiva al usuario a realizar cambios en el comportamiento del consumo, pues este lo hace actuar de una manera eficiente y consciente, generando así un ambiente transparente, dinámico, controlable e inteligente [(Whitmore, Agarwal, & Da Xu, 2015), (Mshali, Lemlouma, Moloney, & Magoni, 2018), (Buzzi, Leporini, & Meattini, 2019), (Castro, Jara, & Skarmeta, 2013), (Zhu et al., 2018), (T. hoon Kim et al., 2017), (Hong Tianzhen, D'Oca Simona, Turner William J.N., 2015), (Yao, Shen, et al., 2017)]. Además, le brinda comodidad pues simplifica el control y el manejo de los dispositivos eléctricos (Song & Cho, 2013). El sistema interactivo es un medio que sirve para hacer una representación virtual (Lopez Research, 2013) creando objetos (Madakam et al., 2015) del contexto identificado [(Matei et al., 2017), (Mshali et al., 2018), (Ni & Paudyal, 2017), (Song & Cho, 2013)], el sistema interactivo agrupa los datos con respecto al objetivo de implementación [(Kwan, Gangat, Payet, & Courdier, 2016), (Azimi, Rahmani, Liljeberg, & Tenhunen, 2017), (Faruqui et al., 2010)]. La interfaz del sistema debe de tener la característica de ser flexible, accesible e intuitiva [(Nguyen & Aiello, 2013), (Buzzi et al., 2019), (Want et al., 2015), (Scheinoltz, Holden, & Kalish, 2012)] como un sistema SCADA (Katyara, Shah, Chowdhary, Akhtar, & Lashari, 2018) al permitir la inclusión de más objetos virtuales al sistema. La presentación de los datos de consumo a través de la interfaz (Mshali et al., 2018) reduce el consumo de entre un 3% y un 13% (Faruqui et al., 2010). En la *Tabla 2.5*, se muestran los artículos que tratan sobre el tema de la interfaz de un sistema de gestión de la demanda eléctrica.

Tabla 2.5 Componentes y datos a mostrar en una interfaz

Referencia	Descripción	Numero de Dispositivos	Dispositivos
(Song & Cho, 2013)	Menú jerárquico de navegación		
(S. Kakran & Chanana, 2018)		21	
(Hao & Wang, 2017)		11	Ventilador
			Calefactor
(Adika & Wang, 2014a)		4	Aire Acondicionado
			Lavadora

Capítulo 2. Revisión de la Literatura

Tabla 2.5 Componentes y datos a mostrar en una interfaz (continuación)

Referencia	Descripción	Numero de Dispositivos	Dispositivos
	Se muestra el consumo por dispositivo		
(Jahn et al., 2010)	Se muestra el consumo total	5	
	Hace proyección del costo anual		
(Buzzi et al., 2019)	Componentes gráficos		
	Se muestra el estado del dispositivo		
(Vukasovic, 2017)	Se muestra el consumo del dispositivo		
	Se muestran los horarios de uso		
(Negnevitsky & Wong, 2015)	Generar gráficos de consumo		
(Barbato et al., 2013)		1	Lavadora
(Samadi et al., 2020)	Modelos de tareas	17	
(Vatavu & Vanderdonckt, 2020)	Componentes gráficos		
(Ramírez-Mendiola, Grünewald, & Eyre, 2017)	Número de residentes		

2.4.3 Módulo de predicción

En el módulo de predicción se implementa el procedimiento que propone un consumo de acuerdo con el objetivo de implementación del sistema de análisis del consumo eléctrico. En la literatura se identifican cuatro tipos de procedimiento que pueden ser implementados en estos sistemas, los cuales son procedimientos de programación lineal, algoritmos genéticos, metaheurísticas y de teoría de juegos. Siendo de los más implementados, las metaheurísticas (véase *Tabla 2.6*).

Capítulo 2. Revisión de la Literatura

Tabla 2.6 Clasificación de las técnicas implementadas en un Sistema de Gestión

Referencia	Clasificación de las técnicas				Objetivo
	Programación Lineal	Algoritmo Genético	Metaheurística	Teoría de Juegos	
(Kakran & Chanana, 2018)				X	Minimizar consumo
(Mohsin et al., 2018)	X	X	BPSO, ACO		Minimizar costo
(Lin & Tsai, 2015)		Sorting genetic algorithm-II (NSGA-II)			Reducir costo Reducir consumo
(Ni & Paudyal, 2017)	X	X		X	
(Yao, Shen, et al., 2017)	X				
(Javaid, Naseem, et al., 2017)		X	BFOA, BPSO, WDO, GBPSO		Reducir costo Reducir picos de voltage
(Javaid, Hussain, et al., 2017)		X			Reducir costo Confort
(Adika & Wang, 2014a)	X				
(Yao, Damiran, et al., 2017)	MILP	X			Reducir costo Reducir consumo
(Pedrasa et al., 2010)			PSO		
(Alam et al., 2016)	MILP, ILP, LP	X	PSO	X	
(Huang et al., 2015)			PSO, BPSO, HPSO		Reducir costo
(Karimi, Khaoula; Krit, 2018)	MILP		AG	X	Confort
(Rahim et al., 2016)		X	BPSO, ACO		Reducir costo Reducir consume Confort
(Nadeem et al., 2018)	X	X	FA		Reducir costo Reducir consume Confort
(Hao & Wang, 2017)				X	Reducir costo
(B. Silva et al., 2018)				X	Reducir el consumo
(Fauvel et al., 2018)		X	PSO	X	
(Rahim et al., 2016)		X	BPSO, ACO		

Capítulo 2. Revisión de la Literatura

Tabla 2.6 Clasificación de las técnicas implementadas en un Sistema de Gestión (continuación)

Referencia	Clasificación de las técnicas				Objetivo
	Programación Lineal	Algoritmo Genético	Metaheurística	Teoría de Juegos	
(Tushar et al., 2018)				X	
(Barbato et al., 2013)	X				

2.5 Resumen del capítulo

En el presente capítulo se hizo una revisión del estado del arte para realizar una propuesta metodológica para el desarrollo de un sistema de análisis del consumo eléctrico, para lo cual se analizó desde el enfoque del flujo de datos en proyectos el cómo se da éste en los sistemas de demanda y en las arquitecturas de monitoreo. Se identificaron los objetivos de diseño e implementación de los sistemas de análisis del consumo eléctrico, así como también se identifica la generación de perfiles de uso y consumo de los dispositivos eléctricos que caracterizan una casa, esto cuando no se cuenta con una infraestructura física que provea de estos datos. Se identifican cuales son los datos que se deben de mostrar en una interfaz interactiva para estos sistemas de análisis, así como las características que identifican a los dispositivos y que permiten modelar el consumo eléctrico de una casa. Como parte de la revisión de la literatura, se identifican las técnicas implementadas en estos sistemas para realizar la búsqueda de los consumos óptimos.

Capítulo 3 Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

3.1 Módulo Capa de Sensores

En el Módulo de la Capa de Sensores (*MCS*) se determinan las tecnologías de adquisición de datos, la arquitectura de sensores, el diseño del módulo monitor y el método para adquirir y definir la conciencia del comportamiento. Estos componentes se determinan y diseñan a partir de la alineación de los objetivos particulares de implementación del Sistema de Gestión de la Energía para el Hogar (*SGEH*).

La arquitectura de sensores [(Li et al., 2015), (T. hoon Kim et al., 2017), (Madakam et al., 2015), (Liu, 2017)] adquiere los datos primarios (datos de consumo). El arreglo de sensores que forman la arquitectura de sensores son sensores ubicuos [(Perera, Zaslavsky, Christen, & Georgakopoulos, 2014), (Nguyen & Aiello, 2013)]. La disposición y localización de los sensores se hace de acuerdo con un plano de diseño de la arquitectura de los sensores. El plano del diseño de la arquitectura considera el contexto de implementación y los objetivos particulares de uso. El módulo monitor puede ser un módulo centralizado o distribuido, el cual se encarga de enviar los datos de la lectura a almacenar en una base de datos, y el análisis de estos datos en el componente de conciencia del comportamiento permite identificar el uso de los dispositivos. La salida del *MCS* son los datos y los parámetros de consumo de cada uno de los dispositivos que están siendo monitoreados, el consumo de los dispositivos se determina por el comportamiento de uso que hace el usuario.

Los componentes del *MCS* pueden ser emulados mediante la simulación del comportamiento del uso de los dispositivos [(Monacchi & Zhevzyk, 2016), (Shan, Yoon, Khasawneh, & Gandhi, 2011), (Naz, Id, & Javaid, 2018), (Behrens et al., 2018), (S. Kakran & Chanana, 2018), (Fabi et al., 2013)].

3.1.1 Fases del desarrollo de un simulador

Un simulador imita el comportamiento de un sistema real, permitiendo ver cómo será el comportamiento de este sistema a través de tiempo. Son seis fases de desarrollo de un simulador se dividen en las etapas conceptual y técnica. La etapa conceptual se compone de tres fases: definición del problema, conceptualización del sistema y la representación del modelo. La etapa técnica se

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

compone de las fases: comportamiento del modelo, evaluación del modelo, y uso del modelo y análisis (ver *Figura 3.1*).

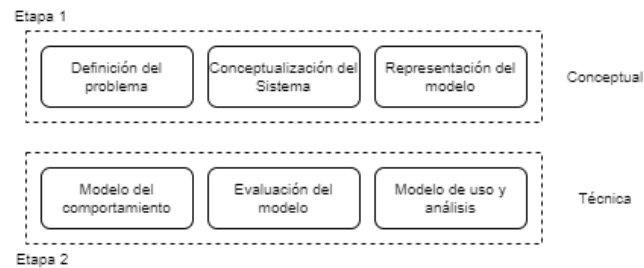


Fig. 3.1 Fases de simulación

Etapa 1.

Fase 1 Definición del problema

Es la primera fase del proceso de construcción de un simulador, implica reconocer y definir un problema. Para reconocer el problema se debe saber cómo inferir las relaciones causales y saber interpretar gráficas de variables. Los sistemas dinámicos contienen cantidades que varían con el tiempo, puede describirse causalmente esta variabilidad y las influencias causales pueden estar contenidas dentro de un sistema de retroalimentación.

Fase 2 Conceptualización del sistema

Identificación de las influencias más importantes de un sistema. Los sistemas pueden representarse por medio de diagramas, gráficas de variables – tiempo.

Fase 3 Representación del modelo

Esta es la tercera fase del proceso de creación de modelos, los modelos se representan en forma de código.

Etapa 2.

Fase 4 Modelo del comportamiento

En esta fase se hace una simulación por computadora para determinar el comportamiento de todas las variables dentro del sistema a lo largo del tiempo.

Fase 5 Evaluación del modelo

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

En esta fase se realizan pruebas para evaluar su calidad y validez. Las pruebas van desde una comprobación de la consistencia lógica, una comparación de la salida del modelo con los datos recopilados a lo largo del tiempo, o una prueba estadística de los parámetros utilizados en la simulación.

Fase 6 Modelo de uso y Análisis

El modelo se utiliza para probar factores alternativos que pudieran implementarse en el sistema en estudio.

3.1.2 Simulador de perfil de uso de dispositivos

Un simulador de perfil de uso [(William et al., 2017), (Fabi et al., 2013), (Yan D., O'Brien W., Hong T., Feng X., Gunay H., Tahmasebi F., 2015),(Yu et al., 2015), (Kavousian et al., 2015)] de dispositivos para un SGEH permite obtener el comportamiento de uso de los dispositivos. La identificación de las fases de la simulación para un SGEH se define a continuación:

Etapas conceptuales

- Definición del problema: se identifica el objetivo de la implementación de un SGEH conforme al contexto y las variables que definen el consumo eléctrico. Se identifican los dispositivos, los momentos de uso, y el consumo de cada uno de ellos.
- Conceptualización del sistema: se identifican los tipos de dispositivos que caracterizan el contexto de uso, después son clasificados por tipo de dispositivos. una vez identificados los dispositivos se analizan las asociaciones y las correlaciones que existen entre los dispositivos con respecto a los momentos de uso.
- Representación del modelo: se formalización las relaciones existentes entre los dispositivos mediante ecuaciones que identifican los estados de los dispositivos en un momento específico, y los consumos.

Etapas técnicas

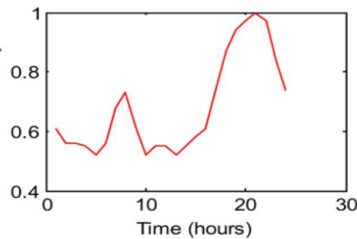
- Modelo del comportamiento: la representación del comportamiento de los estados y del consumo de los dispositivos a través del tiempo se presentan en matrices de consumo y comportamiento.
- Evaluación del modelo: se observa el comportamiento de la curva de la función de distribución de probabilidades (*FDP*) de cada uno de los dispositivos identificados en la literatura [(Adika & Wang, 2014b), (William et al., 2017), (Fabi et al., 2013), (Yan D., O'Brien W., Hong T., Feng X., Gunay H., Tahmasebi F., 2015), (Ramírez-Mendiola et al., 2017)], estos dispositivos son: ventilador, calefactor, aire acondicionado y lavadora. Las gráficas encontradas, en la literatura, son el resultado del análisis de los horarios de encendido de los dispositivos durante un periodo de al menos dos años. Se realizan simulaciones, y se hace una comparativa de las curvas de las gráficas

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

de las FDP con las obtenidas en la simulación para verificar la similitud de estas. Las FDP son obtenida a partir de las simulaciones realizadas, dicha FDP representa el patrón de comportamiento.

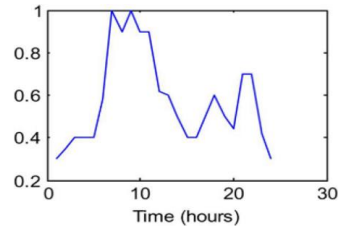
Para cada una de las gráficas de la FDP se obtienen, a mano, las coordenadas de los puntos de inflexión. Las coordenadas se ingresan al método que se implementa para realizar la simulación, y se generan simulaciones para confirmar la generación de las curvas de las gráficas de la literatura. Posteriormente, se generan los experimentos para generar perfiles de uso y consumo [(Jahn et al., 2010), (Tso & Yau, 2007)] para cada uno de los dispositivos.

A continuación, se presentan las coordenadas y las gráficas abstraídas de la literatura. De las Fig. 3.2 a la Fig. 3.5 se muestran las gráficas y las coordenadas que se obtuvieron a partir de ellas.



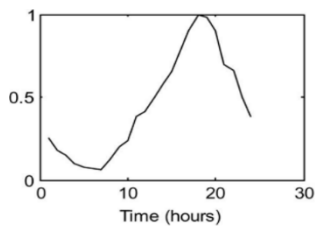
x=[0,1.2,0.0482,3.0120,3.9759,5.0602,6.1446,6.9879,7.8313,10,10.8434,11.9277,13.0120,15.7831,18.1928,19.1566,20.9639,22.1687,24]
 y=[0.7879,0.6069,0.5620,0.5620,0.5517,0.5207,0.5620,0.6828,0.7569,0.5207,0.5517,0.5517,0.5207,0.6069,0.8689,0.9379,1,0.9724,0.7879]

Fig. 3.2 Coordenadas ventilador



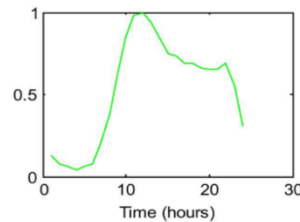
x=[0,0.9639,2.8916,4.9398,6.0241,6.9880,8.0723,9.0361,10,10.9639,11.9278,13.0120,14.9398,15.9036,17.8313,20,21.6867,22.7711,23.7349,24]
 y=[0.3021,0.3021,0.4,0.4,0.566,1,0.8894,1,0.8894,0.8894,0.6170,0.6,0.4,0.4,0.6,0.4383,0.6978,0.6978,0.4042,0.3021]

Fig. 3.3 Coordenadas calefactor



x=[0,0.9639,1.9277,2.8916,3.8554,5.0602,6.8675,8.9157,10,10.8434,11.9277,15.0602,17.3494,18.6747,19.580,20,21.4458,22.6506,24]
 y=[0.3846,0.2582,0.1813,0.1538,0.1099,0.0824,0.0659,0.2033,0.2418,0.3846,0.4121,0.6538,0.8901,1,0.9780,0.8956,0.6923,0.6593,0.3846]

Fig. 3.4 Coordenadas aire acondicionado



x=[0,0.9639,1.9277,3.9759,6.0241,8.3133,10,10.9639,12.1687,13.2530,15.0602,16.2651,17.1084,18.1928,19.2771,19.8795,21.0893,22.0482,23.2530,24]
 y=[0.3187,0.1319,0.0824,0.0440,0.0824,0.4176,0.8571,0.9835,1,0.9231,0.7473,0.7362,0.6923,0.6923,0.6593,0.6538,0.6538,0.6978,0.5440,0.3187]

Fig. 3.5 Coordenadas lavadora

- Modelo de uso y análisis: a partir de las simulaciones que se van realizando con los datos obtenidos a partir del análisis de las gráficas de FDP del comportamiento de los dispositivos de uso doméstico se obtienen las matrices de perfil de uso y consumo.

3.1.3 Caracterización de dispositivos

Se crea una tabla para caracterizar los dispositivos, en la cual se almacenan los datos que identifican al dispositivo y sus correspondientes datos de consumo. La creación de la tabla se realiza de la siguiente manera:

1. Identificación de los dispositivos que se usan con mayor frecuencia en un hogar.
2. Identificación de los tiempos de uso frecuente de cada uno de los dispositivos.
3. Identificar los consumos mínimos y máximos de cada uno de los dispositivos.
4. Definir los intervalos de tiempo en el que son usados los dispositivos.
5. Agrupar los dispositivos por la manera en la cual operan (Interrumpible, No Interrumpible, Flexible o No Flexible).

3.1.4 Simulación. Método Monte Carlo

Para emulación del comportamiento de uso de los dispositivos se implementó un simulador que usa el Método Monte Carlo con la técnica de aceptación – rechazo. En la Fig. 3.6 se presenta el diagrama que muestra cómo se generan los horarios de encendido de los dispositivos.

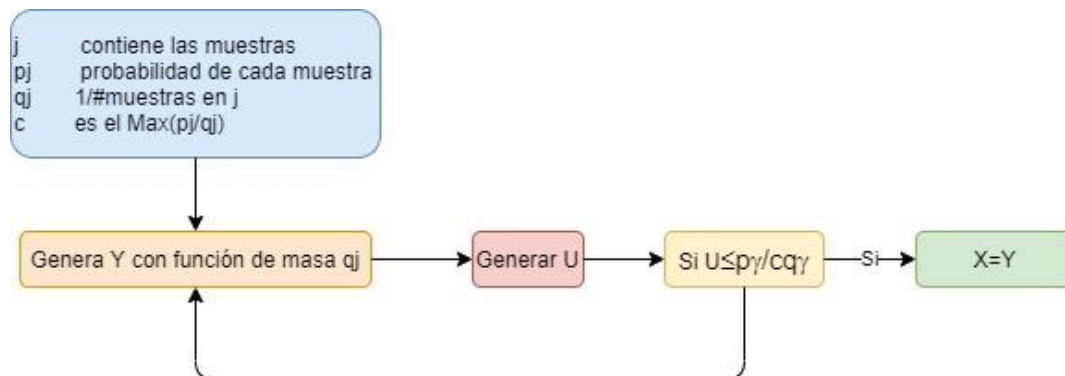


Fig. 3.6 Diagrama de la técnica Aceptación-Rechazo

Para la simulación, en el parámetro j se almacenan las coordenadas x , en p_j las coordenadas y de la FDP. El parámetro q_j se considera densidad uniforme. El código de la función de aceptación-rechazo de generación de horarios de uso se escribió en MatLab (Código 3.1)

Código 3.1

```
function X=AceptacionRechazo(j,pj,qj,c)
    band=0;
    while band==0
        u1=rand;
        Y=fix(numel(j)*u1)+1;%j(1)
```

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

```
u2=rand;  
if u2<=pj(Y)/(c*qj)  
    X=Y;  
    band=1;  
else  
    band=0;  
end  
end  
end  
end
```

La validación de la técnica se hace realizando una simulación de 1500 experimentos y hace una comparativa visual de la curva de la FDP original contra la generada en la simulación (ver Fig.3.7).

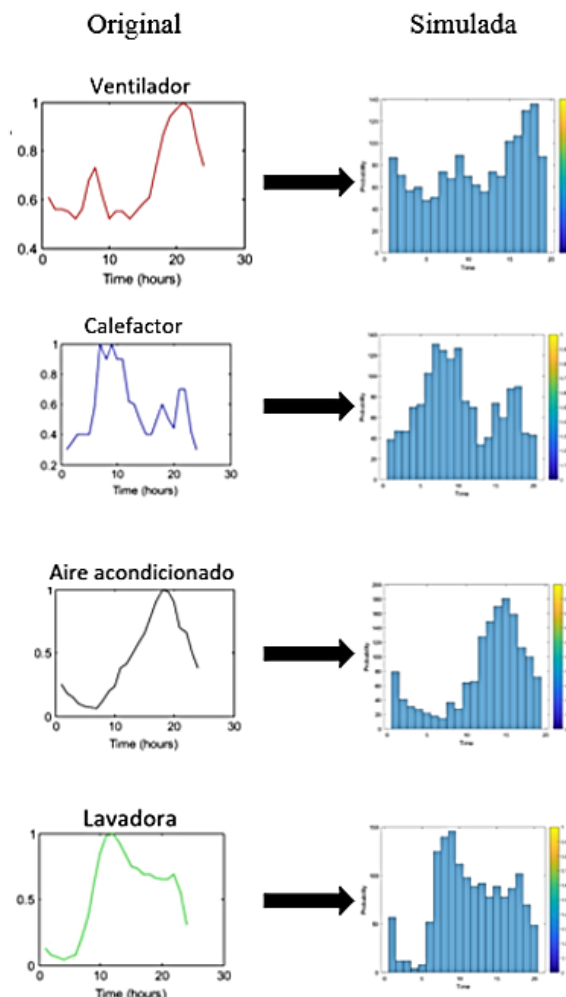


Fig. 3.7 Comparativa de las gráficas FDP original contra las simuladas

Número de ensayos en la simulación

Para la simulación de cada uno de los dispositivos se determina el número de ensayos, lo cual se hace siguiendo los siguientes pasos:

1. Elegir un valor aceptable para d ($d=10^{-3}$) para estimar la desviación estándar.
2. Generar al menos 100 ensayos o experimentos.
3. Se generan más ensayos, para cuando se han generado k valores y $\frac{s}{\sqrt{k}} < d$, donde S es la desviación estándar del muestreo de los k ensayos.
4. Para estimar θ está dado por $\bar{X} = \sum_{i=1}^k X_i / k$

El código para calcular el número de ensayos por simulación – dispositivo se escribió en MatLab (*Código 3.2*).

Código 3.2 Cálculo de ensayos por dispositivo

```
%clear; clc; %limpia la memoria y la linea de comando
for simulacion=1:100
NPerfiles=100;%se definen el numero de ensayos
global horario;%=zeros(NPerfiles,24);%matriz para almacenar la hora de encendido
global TUseHorario;%=zeros(NPerfiles,24);%matriz para almacenar el tiempo que
permanece encendido
global TUseDiario;%=zeros(NPerfiles,1);%vector de una columna para almacenar el
tiempo promedio por ensayo
global CPromDiario;%=zeros(NPerfiles,1);%vector de una columna para almacenar el
consumo promedio por ensayo
global PerfilUse;%=zeros(NPerfiles,24);%matriz de 0 y 1, donde 1 indica que el
dispositivo se encuentra encendido a partir del horario de encendido hasta la du-
racion de encendido
global TUseXH;%=zeros(NPerfiles,24);%matriz para almacenar el tiempo que se en-
cuentra encendido un dispositivo durante cada hora
global PerfilUseC;%=zeros(NPerfiles,24);%matriz para almacenar el consumo durante
cada hora
%***** ClothesHeater
%j=[0,0.9639,1.9277,3.9759,6.0241,8.3133,10,10.9639,12.1687,13.2530,15.0602,16.26
51,17.1084,18.1928,19.2771,19.8795,21.0893,22.0482,23.2530,24];
%pj=[0.3187,0.1319,0.0824,0.0440,0.0824,0.4176,0.8571,0.9835,1,0.9231,0.7473,0.73
62,0.6923,0.6923,0.6593,0.6538,0.6538,0.6978,0.5440,0.3187];
%TUse=0.57;
%CHora=2623.33; % kilowatts-hora consumo fijo
%***** FurnaceFan
%j=[0,1,2.0482,3.0120,3.9759,5.0602,6.1446,6.9879,7.8313,10,10.8434,11.9277,13.01
20,15.7831,18.1928,19.1566,20.9639,22.1687,24];
%pj=[0.7879,0.6069,0.5620,0.5620,0.5517,0.5207,0.5620,0.6828,0.7569,0.5207,0.5517
,0.5517,0.5207,0.6069,0.8689,0.9379,1,0.9724,0.7879];
%TUse=3;
%CHora=215; % kilowatts-hora consumo fijo
```

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

```
***** RoomAirConditioner
%j=[0,0.9639,1.9277,2.8916,3.8554,5.0602,6.8675,8.9157,10,10.8434,11.9277,15.0602
,17.3494,18.6747,19.580,20,21.4458,22.6506,24];
%pj=[0.3846,0.2582,0.1813,0.1538,0.1099,0.0824,0.0659,0.2033,0.2418,0.3846,0.4121
,0.6538,0.8901,1,0.9780,0.8956,0.6923,0.6593,0.3846];
%TUs=4;
%CHora=1299.65; % kilowatts-hora consumo fijo
***** SpaceHeater
j=[0,0.9639,1.9277,3.9759,6.0241,8.3133,10,10.9639,12.1687,13.2530,15.0602,16.265
1,17.1084,18.1928,19.2771,19.8795,21.0893,22.0482,23.2530,24];
pj=[0.3187,0.1319,0.0824,0.0440,0.0824,0.4176,0.8571,0.9835,1,0.9231,0.7473,0.736
2,0.6923,0.6923,0.6593,0.6538,0.6538,0.6978,0.5440,0.3187];
TUs=4;
CHora=1254.36; % kilowatts-hora consumo fijo
qj=1/numel(j);
c=max(pj/qj);
[horario,TUsHorario]=ScheduleTime(NPerfiles,TUs,j,pj,qj,c);
[PerfilUso,TUsXH,PerfilUsoC]=PerfilU(NPerfiles,TUsHorario,horario,CHora);
[TUsDiario]=UsoPromedioDiario(NPerfiles,TUsHorario);
[CPromDiario]=ConsumoPromedioDiario(NPerfiles,PerfilUsoC);
TUsPromedioD=mean(TUsDiario); %Se obtiene el tiempo de uso promedio conside-
rando todos los ensayos
ConsumoProm=mean(CPromDiario); %Se obtiene el consumo promedio considerando todos
los ensayos
S=std(TUsDiario);
raizK=sqrt(NPerfiles);
Sk=S/raizK;
while (Sk>0.05)
    NPerfiles=NPerfiles+1;
    [horario,TUsHorario]=ScheduleTime(NPerfiles,TUs,j,pj,qj,c);
    [PerfilUso,TUsXH,PerfilUsoC]=PerfilU(NPerfiles,TUsHorario,horario,CHora);
    [TUsDiario]=UsoPromedioDiario(NPerfiles,TUsHorario);
    [CPromDiario]=ConsumoPromedioDiario(NPerfiles,PerfilUsoC);
    TUsPromedioD=mean(TUsDiario); %Se obtiene el tiempo de uso promedio consi-
derando todos los ensayos
    ConsumoProm=mean(CPromDiario); %Se obtiene el consumo promedio considerando
todos los ensayos
    S=std(TUsDiario);
    raizK=sqrt(NPerfiles);
    Sk=S/raizK;
end
numExperimentos(simulacion)= NPerfiles;
end
numExpePromedio=mean(numExperimentos)
NPerfiles=round(numExpePromedio)
[horario,TUsHorario]=ScheduleTime(NPerfiles,TUs,j,pj,qj,c);
[PerfilUso,TUsXH,PerfilUsoC]=PerfilU(NPerfiles,TUsHorario,horario,CHora);
[TUsDiario]=UsoPromedioDiario(NPerfiles,TUsHorario);
```

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

```
[CPromDiario]=ConsumoPromedioDiario(NPerfiles,PerfilUsoC);
TUsopromedioD=mean(TUsodiario); %Se obtiene el tiempo de uso promedio conside-
rando todos los ensayos
ConsumoProm=mean(CPromDiario); %Se obtiene el consumo promedio considerando todos
los ensayos
histogram(horario(1:50,1:5))
auxHorario=horario;
auxHorario(auxHorario==0) = NaN;
histogram(auxHorario(1:50,1:5));
unos=0; ceros=0;
for i=1:NPerfiles
    for j=1:24
        auxiliar(i,j)=PerfilUso(i,j);
        if PerfilUso(i,j)==1
            unos=unos+1;
        else
            ceros=ceros+1;
        end
    end
end
arreglo=[ceros,unos];
p=pie(arreglo);
pText = findobj(p,'Type','text');
percentValues = get(pText,'String');
txt = {'Turn Off: '; 'Turn On: '};
combinedtxt = strcat(txt,percentValues);
pText(1).String = combinedtxt(1);
pText(2).String = combinedtxt(2);
```

El margen de error del sistema se calcula usando la desviación estándar, y considerando que el experimento es no sensible se estableció al 5%. Cuando la desviación estándar ya no es significativa entonces se detiene la simulación, el número de ensayos para cada dispositivo se muestran en la *Tabla 3.1*.

Tabla 3.1 Determinación del número de experimentos por simulación para cada dispositivo

Dispositivo	Tiempo uso Pro- medio	Consumo Promedio frecuente	d =5%	
			k= num. experimentos por simulación	
			kmin=100 100 simulaciones	
			# experimentos	
			Promedio	Redondeo
Lavadora	1.14	895.5	100	100
Ventilador	0.16	300	186.80 - 188.89	189
Aire acondicio- nado	4	1530.215	417.65 - 418.19	419

Calefactor	4	1190.78	387.14 - 387.86	388
------------	---	---------	-----------------	-----

Generación de perfiles usando el simulador

La metodología para la codificación del simulador que genera los perfiles es la siguiente:

1. Inicialización de variables, matrices y parámetros. En la variable NPerfiles se establece al número de ensayos, en el vector j se guardan los valores de x y en pj se guardan los valores de y, de las coordenadas (x,y) identificadas para el dispositivo, según corresponda, en las gráficas de FDP.
2. Se generan los horarios de encendido y los tiempos que dura encendido.
3. Se calcula el promedio de uso y consumo diario.
4. Se generan los perfiles de uso y consumo.

El código del simulador se realizó en MatLab y se muestra en *Código 3.3*:

Código 3.3 Generación de perfiles

```
clear; clc; %limpia la memoria y la linea de comando
NPerfiles=900;%se definen el numero de ensayos según el dispositivo
horario=zeros(NPerfiles,24);%matriz para almacenar la hora de encendido
TUsHorario=zeros(NPerfiles,24);%matriz para almacenar el tiempo que permanece
encendido
TUsDiario=zeros(NPerfiles,1);%vector de una columna para almacenar el tiempo
promedio por ensayo
CPromDiario=zeros(NPerfiles,1);%vector de una columna para almacenar el consumo
promedio por ensayo
PerfilUso=zeros(NPerfiles,24);%matriz de 0 y 1, donde 1 indica que el dispositivo
se encuentra encendido a partir del horario de encendido hasta la duracion de en-
cendido
TUsXH=zeros(NPerfiles,24);%matriz para almacenar el tiempo que se encuentra en-
cendido un dispositivo durante cada hora
PerfilUsoC=zeros(NPerfiles,24);%matriz para almacenar el consumo durante cada
hora
j=[0,0.9639,1.9277,3.9759,6.0241,8.3133,10,10.9639,12.1687,13.2530,15.0602,16.265
1,17.1084,18.1928,19.2771,19.8795,21.0893,22.0482,23.2530,24];
pj=[0.3187,0.1319,0.0824,0.0440,0.0824,0.4176,0.8571,0.9835,1,0.9231,0.7473,0.736
2,0.6923,0.6923,0.6593,0.6538,0.6538,0.6978,0.5440,0.3187];
qj=1/numel(j);
c=max(pj/qj);
TUs=0.57;
%*****
%*****
%% Se generan las matrices de los horarios de encendido y la de los tiempos de
uso de cada encendido
for row=1:NPerfiles
```

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

```
column=1;
horario(row,column)=AceptacionRechazo(j,pj,qj,c);% se genera el primer encen-
dido
TUseHorario(row,column)=rand*TUso;%el primer tiempo de uso
ban=0;
while (ban<24)
    X=AceptacionRechazo(j,pj,qj,c);% se generan los aleatorios
    TUseVar=TUso*rand;%el tiempo de uso es aleatorio
    if (horario(row,column)+ceil(TUseHorario(row,column))+X>24)%hora de en-
cendido+el tiempo que se usa+el aleatorio
        ban=24;
    else
        horario(row,column+1)=horario(row,column)+ceil(TUseHorario(row,co-
lumn))+X;
        TUseHorario(row,column+1)=TUseVar;%se almacena el tiempo aleatorio
        column=column+1;
    end
end
end
%*****
%*****
%%% Se genera la matriz de los perfiles de uso
for row=1:NPerfiles
    column=1;
    while(horario(row,column)~=0) % se revisa si el dispositivo se encendio y a
que hora fue
        CHora=300; % kilowatts-hora consumo fijo
        TuH=TUseHorario(row,column);%TuH guarda el tiempo de uso del dispositivo
        EndColumn=ceil(TUseHorario(row,column))-1;% se redondea al siguiente en-
tero el tiempo de uso del dispositivo
        for columnPerfil=horario(row,column):horario(row,column)+EndColumn%Se po-
nen en 1 los horarios de encendido
            PerfilUso(row,columnPerfil)=1;
            if TuH>1
                TUseXH(row,columnPerfil)=1;% se guarda el tanto de la hora que
esta encendido
                TuH=TuH-1;
                PerfilUsoC(row,columnPerfil)=1*CHora; %se guarda kWh
            else
                TUseXH(row,columnPerfil)=TuH;
                PerfilUsoC(row,columnPerfil)=TuH*CHora;
            end
        end
        column=column+1;
    end
end
end
%*****
%*****
```

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

```
%% Calculo del uso promedio diario: Se calcula el tiempo promedio de uso de cada
uno de los ensayos
for row=1:NPerfiles %Recorre cada uno de los NPerfiles=900 generados
    uso=0;
    contador=0;
    for column=1:24
        if TUseHorario(row,column)~=0 % se revisa si los tiempos son diferentes
de cero
            uso=uso+TUseHorario(row,column);% se suman los tiempos diferentes de
cero
            contador=contador+1;% contador de tiempos
        end
    end
    format long;
    TUseDiario(row,1)=uso/contador;% se obtiene el tiempo promedio de uso del en-
sayo
end
%*****
%*****
%% LLenado de Consumo Promedio Diario: Se obtiene el promedio del consumo por
ensayo
for row=1:NPerfiles %recorre cada uno de los ensayos hasta llegar a los definidos
por NPerfiles=900
    consumo=0;
    contador=0;
    for column=1:24
        if PerfilUsoC(row,column)~=0 %Verifica si el consumo x hora es diferente
de cero
            consumo=consumo+PerfilUsoC(row,column);%suma los consumos
            contador=contador+1;%contador de consumos
        end
    end
    format long;
    CPromDiario(row,1)=consumo/contador;%se obtiene el consumo promedio del
ensayo
end
end
%*****
%*****
```

Salida del simulador

El simulador genera perfiles de consumo, horarios de encendido, duración de tiempo de encendido y estado de los dispositivos (encendido/apagado) por horario, esto se obtiene por cada uno de los dispositivos (aire acondicionado, calefactor, lavadora y ventilador).

3.2 Módulo Capa Física

En el módulo capa física se implementa un submódulo de fusión y un ambiente inteligente, y sirve para interconectar el módulo capa de sensores con el módulo de predicción. El ambiente inteligente está formado por una interfaz, un módulo de programación y una unidad de control lógico. Por medio de la interfaz son ingresados los datos de restricción, los cuales especifican tiempos y horarios de uso de dispositivos que caracterizan al contexto de aplicación del que se desea hacer el análisis del consumo. El módulo de fusión sirve como repositorio del conjunto de datos primarios y los datos del usuario. La manera en la cual se agrupan los datos obedece a la propuesta de implementación del sistema [(Kwan et al., 2016), (Azimi et al., 2017), (Faruqui et al., 2010)].

3.2.1 Ambiente inteligente

El desarrollo de un ambiente inteligente se enfoca en el diseño de una interfaz interactiva que sirva de apoyo al usuario para que éste haga un consumo eficiente y consciente [(Yao, Shen, et al., 2017), (T. hoon Kim et al., 2017)]. La interfaz le permite al usuario la identificación de los dispositivos que caracterizan el contexto en el cual se plantea implementar el sistema, y a través de la cual se visualiza el consumo total o particular de los dispositivos para que el usuario adquiera consciencia de su comportamiento de consumo [(Faruqui et al., 2010), (Jahn et al., 2010), (Hong Tianzhen, D'Oca Simona, Turner William J.N., 2015)].

El desarrollo de la interfaz se hace basándose en modelos de construcción (González-Calleros, Guerrero-García, Vanderdonckt, & Muñoz-Arteaga, 2009), la documentación del desarrollo contempla las necesidades del usuario y de cómo se da su interacción con el sistema. Los diagramas que forman parte de la documentación son los modelos de tareas (Samadi et al.,

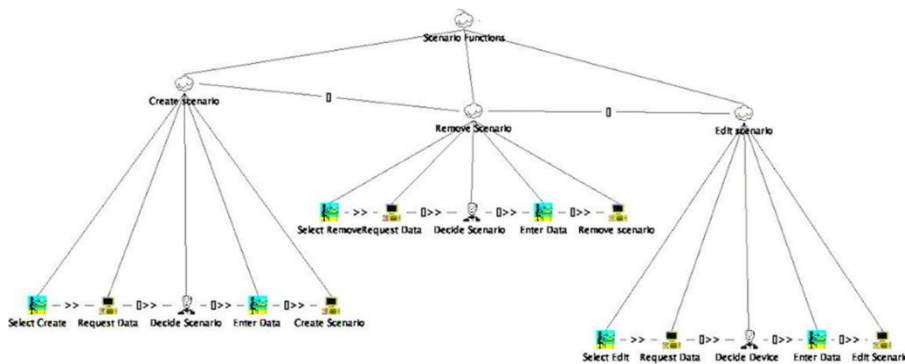


Fig. 3.8 Modelo de tareas de definición de escenario

2020), en los cuales se conceptualizan las tareas que se deben de realizar, tales como: los accesos, las funciones del usuario, las funciones de los dispositivos, las funciones del escenario y reportes.

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

En el acceso se valida al usuario en el sistema con un nombre y una contraseña que le permitan interactuar con las otras funciones del sistema. Una vez validado el usuario se pueden crear escenarios, en la Fig. 3.8 se muestra un modelo de tareas de definición del escenario.

Para definir un modelo de clase, primero se identifica el escenario que se va a caracterizar, para posteriormente identificar los dispositivos de uso más frecuente en ese escenario. La identificación de los dispositivos de uso más frecuente se hizo consultando o las páginas de la Profeco (<https://www.gob.mx/profeco>). Para cada uno de los dispositivos se identifican los parámetros que lo definen: consumo máximo, consumo mínimo, el consumo que se realiza en tiempo de espera, tiempo frecuente de uso diario, grupo de dispositivo al que pertenece (Flexible, No Flexible, Interrumpible, No Interrumpible) y por clasificación de uso (juegos, línea blanca, electrónica, seguridad, iluminación, ventilación-calefacción). Basándose en los parámetros que definen los dispositivos se obtiene la clase Dispositivo (ver Fig. 3.9).

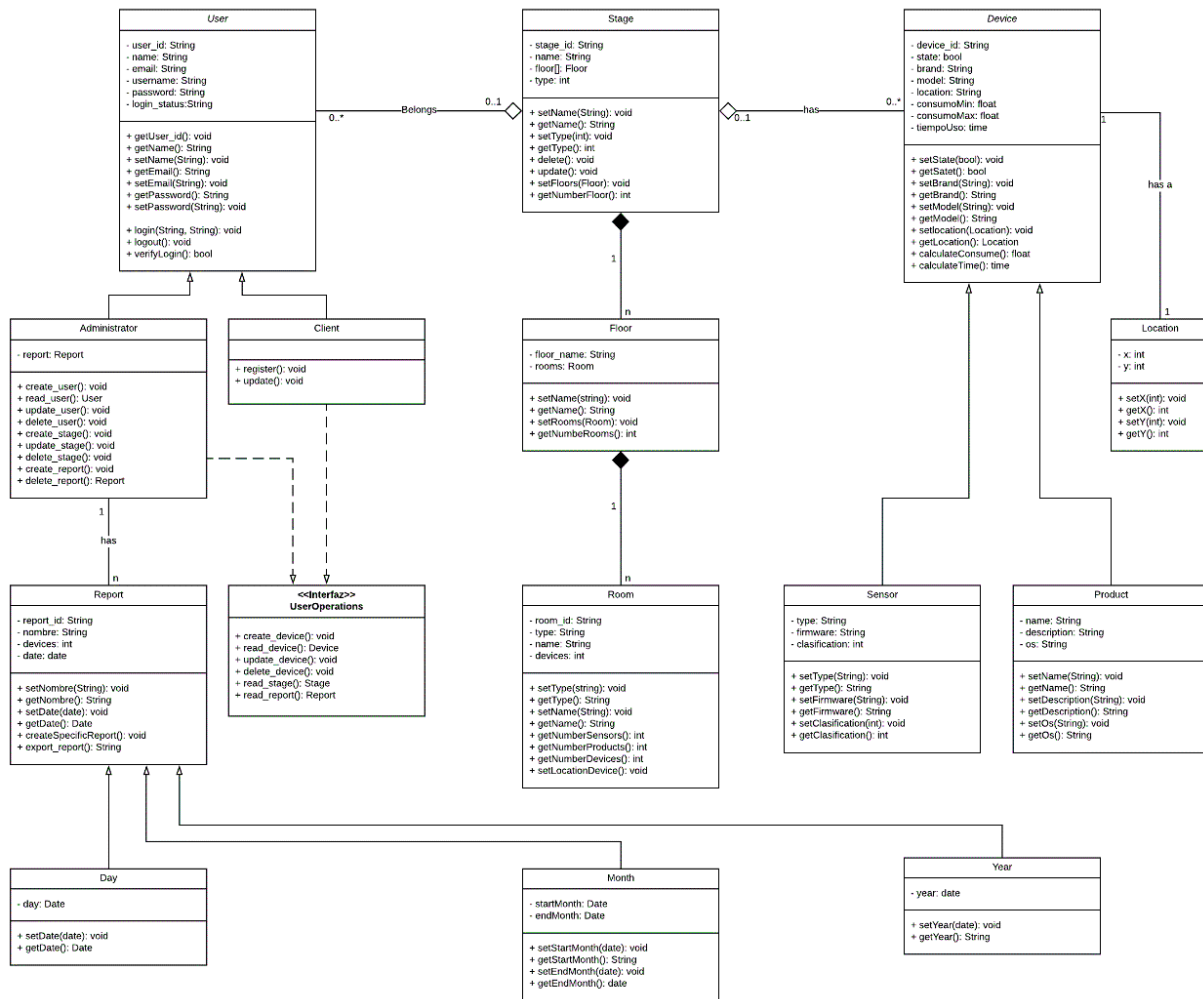


Fig. 3.9 Clase Dispositivo

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

La dinámica del sistema se modela con diagramas UML para mostrar la interacción en el tiempo de las actividades. El primer diagrama es el del login (ver Fig. 3.10).

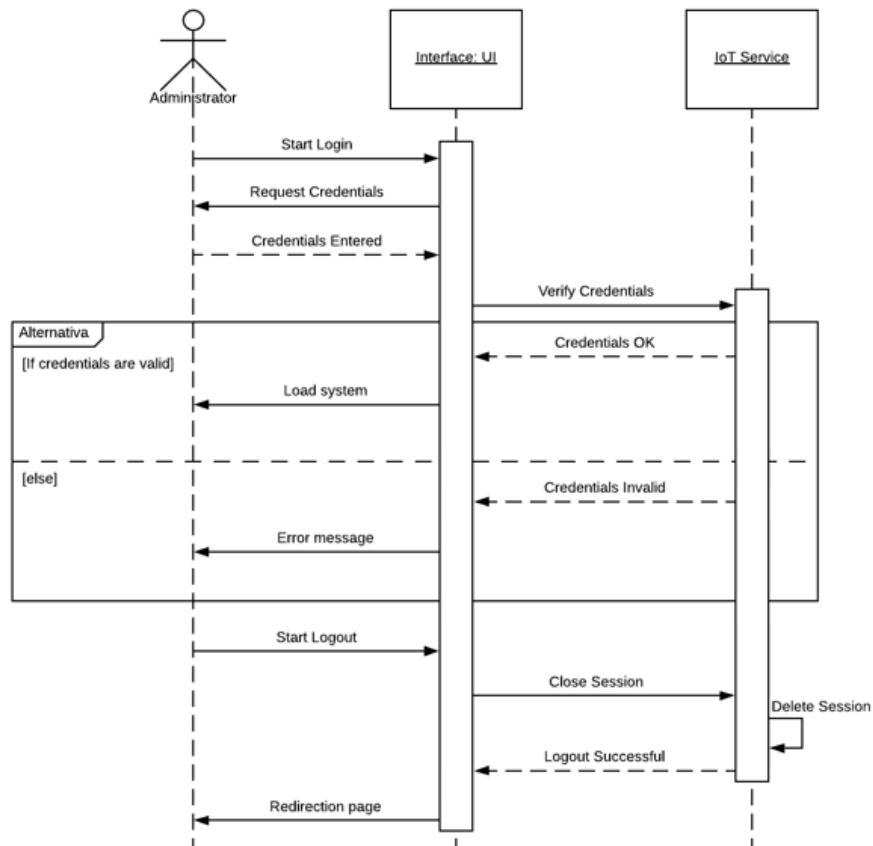


Fig. 3.10 Diagrama UML Login

En las Fig. 3.11 – 3.14, se muestran los diagramas de secuencia CRUD de las funciones de usuario, dispositivos, estado y reportes. El objetivo de implementación es el de mantener la información disponible para cada uno de los usuarios, y saber que dispositivos se encuentran encendidos o apagados.

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

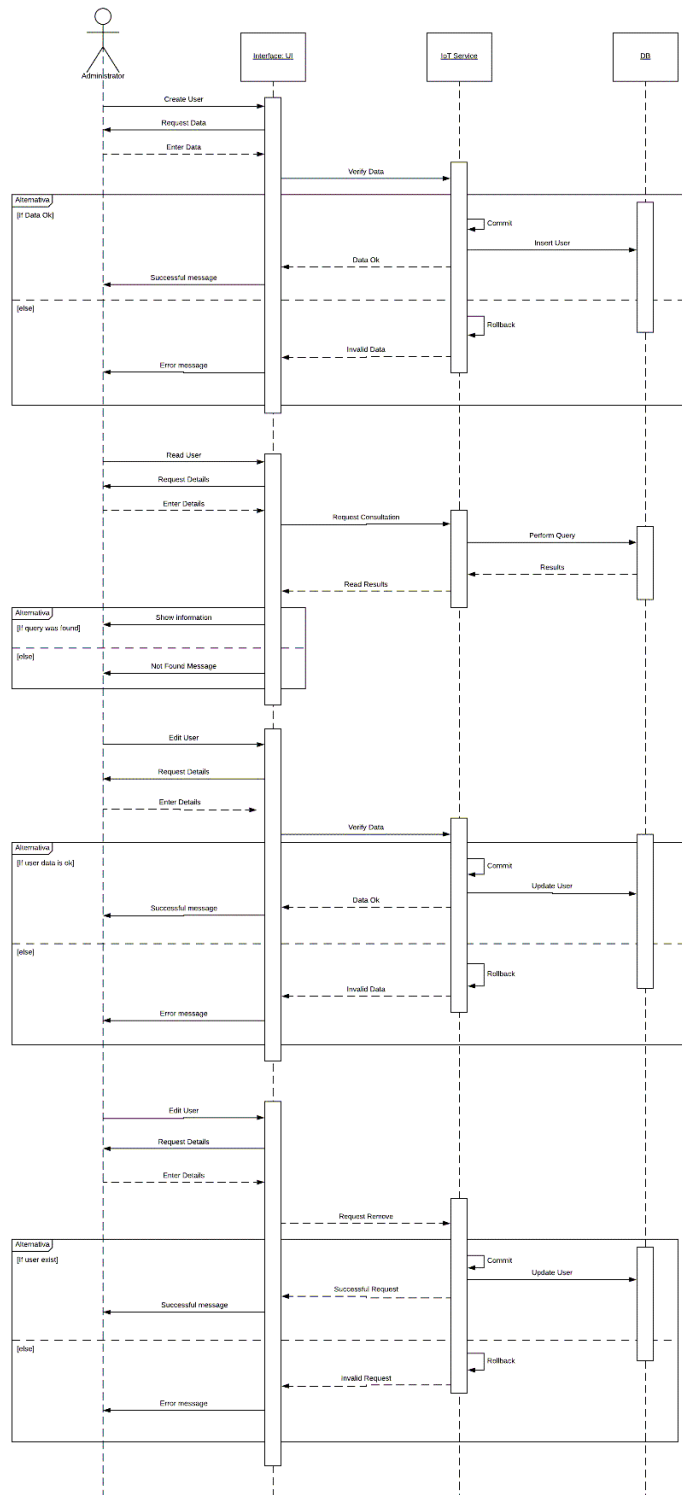


Fig. 3.11 Diagrama de secuencia CRUD del Usuario

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

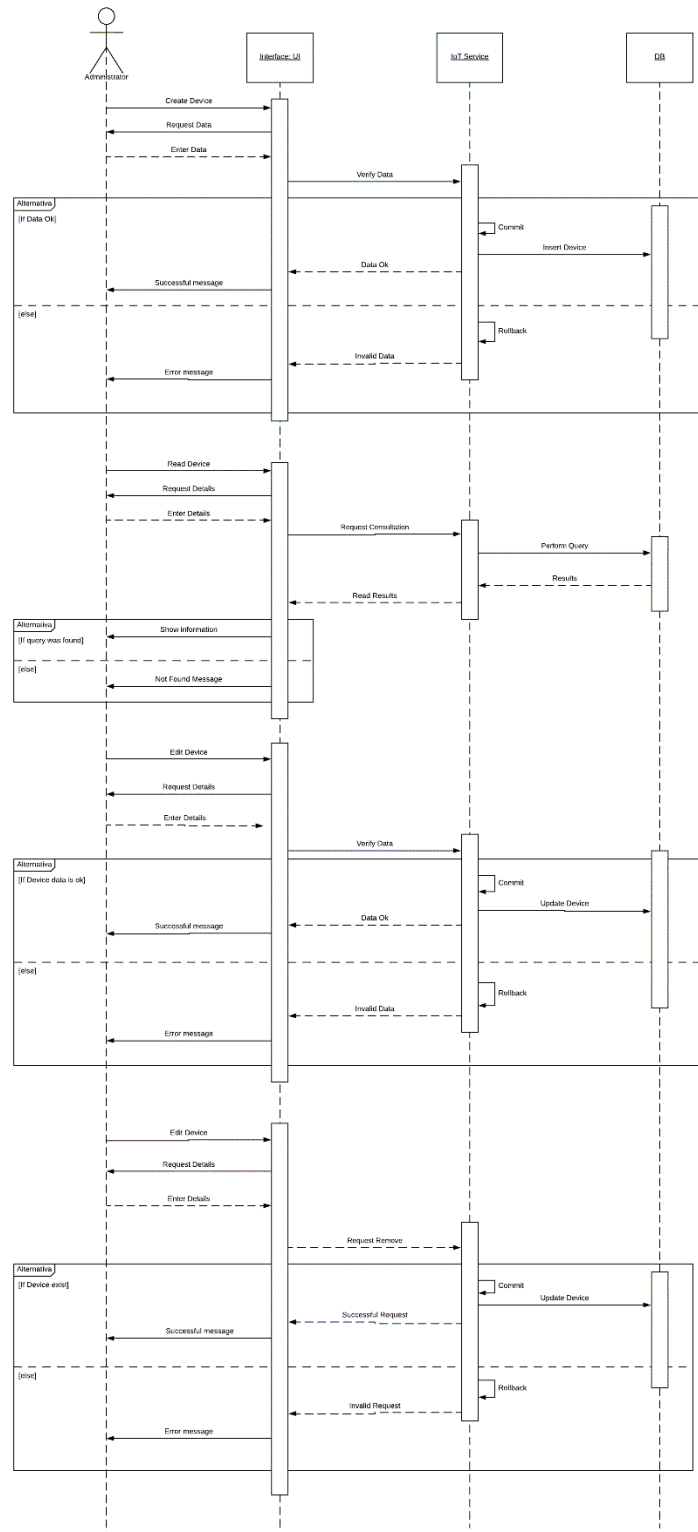


Fig. 3.12 Diagrama de secuencia CRUD de Dispositivo

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

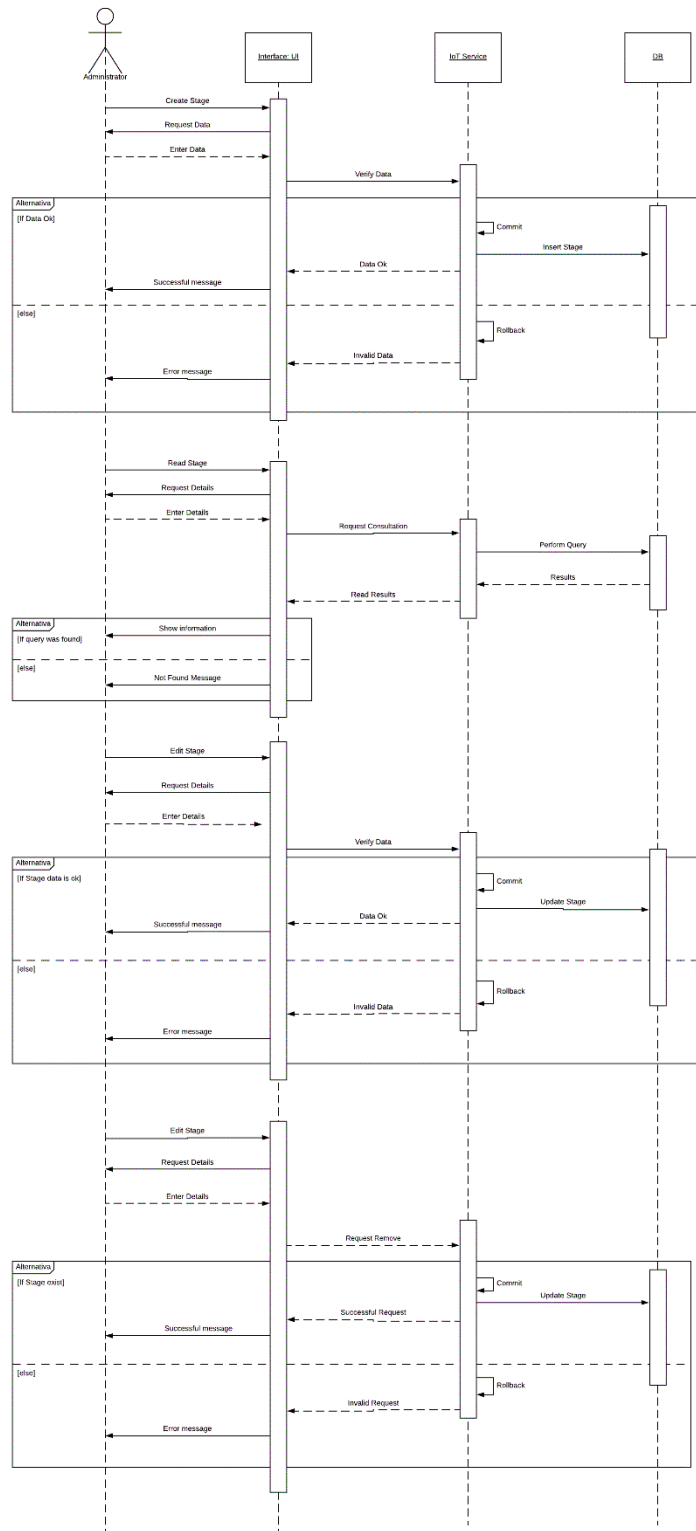


Fig. 3.13 Diagrama de secuencia CRUD de Estado

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

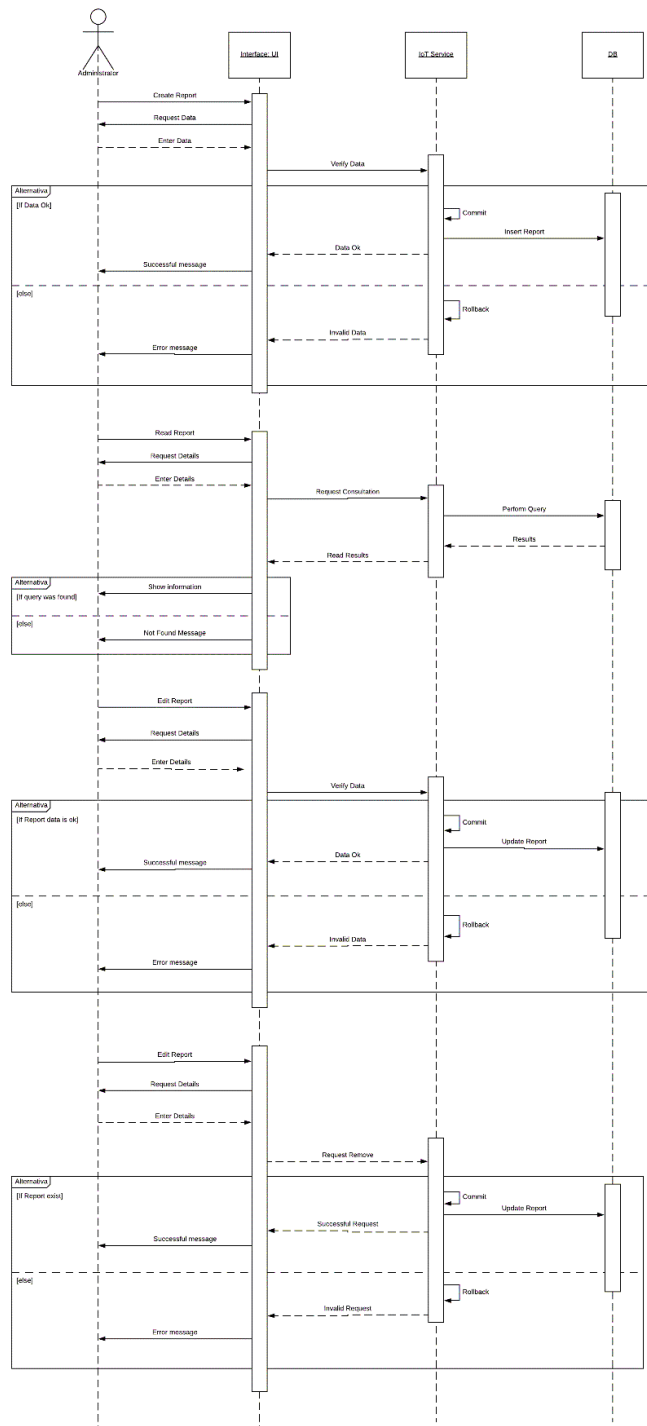


Fig. 3.14 Diagrama de secuencia CRUD Reportes

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

El diseño de la interfaz se hace considerando patrones de diseño UI implementando la técnica Safari. Para recolectar las características de la interfaz se implementan entrevistas, se recaban observaciones, se seleccionan grupos con el propósito de anticipar las necesidades de los usuarios; usando la técnica de Safari es posible visualizar el sistema desde la perspectiva del usuario y además dar respuesta a preguntas como sobre qué puede pasarle al sistema cuando se le está usando, cuando algo está saliendo mal, que dificultades se pueden encontrar cuando el sistema está haciendo cálculos sobre el consumo. Entonces, se propone el uso de storytelling para visualizar el conjunto de retos a los que el usuario podría llegar a enfrentarse durante el uso del sistema. Al inicio del desarrollo de la interfaz del usuario se aplica una encuesta para identificar las preferencias de visualización de los datos de consumo, los periodos de consumo y la agrupación de los dispositivos (ver Fig. 3.15 A-C) y de los objetos que forman parte de la interfaz y que mejor representen los escenarios de caracterización. En la etapa de diseño se contemplan las actividades que el usuario va a realizar en la interfaz, las funcionalidades, y la flexibilidad de la interfaz ante las necesidades del usuario en la interacción.

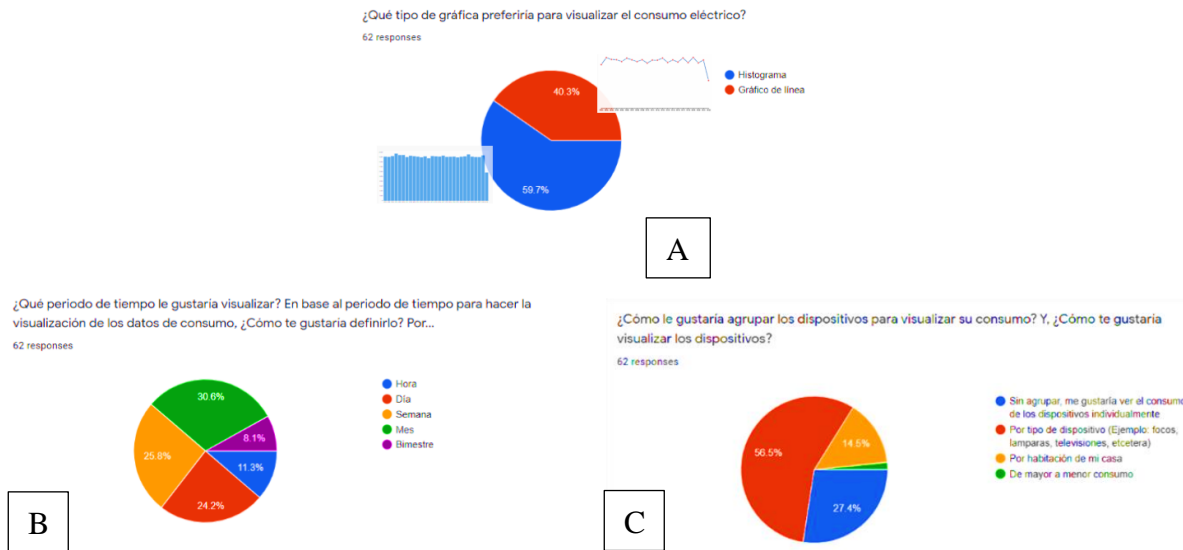


Fig. 3.15 Preferencias de visualización

En la Fig. 3.16 se muestran las actividades de diseño de la interfaz partiendo de la técnica Safari para contextualizar las necesidades desde el punto de vista del usuario, usando mapas de empatía, introduciendo aspectos sociales y estrategias de gamificación.

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

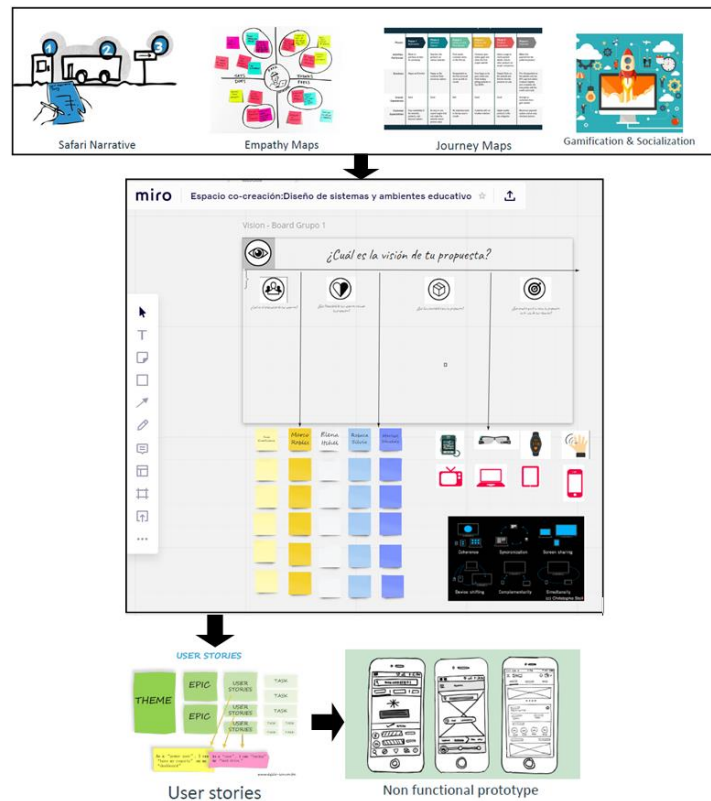


Fig. 3.16 Actividades para diseñar la interfaz del usuario

La interfaz del usuario inicia con la identificación del usuario en el sistema (ver Fig. 3.17). Una vez validado en el sistema el usuario se le muestra al usuario una interfaz con el conjunto de escenarios y dispositivos, el usuario tiene la opción de agregar nuevos dispositivos y escenarios (ver Fig. 3.18), y de poder visualizar el consumo a través de gráficas (ver Fig. 3.19).



Fig. 3.17 Acceso al Sistema



Fig. 3.18 Caracterización del escenario

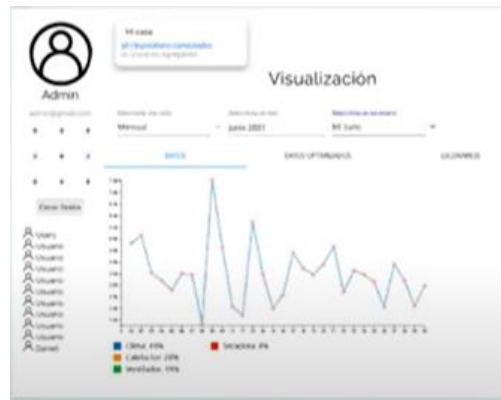


Fig. 3.19 Graficación del consumo

3.2.2 Submódulo de fusión

En el submódulo de fusión son generados los vectores que representan el consumo de un conjunto de dispositivos. Los datos de uso y de consumo son agrupados en vectores para ser enviados al módulo de predicción por medio del módulo capa física. Para generar los vectores que representan el consumo de un conjunto de dispositivos en un momento dado se usan los datos de salida del simulador y los datos de una base de datos de consumo. Se han seleccionado diez dispositivos, los cuatro de la simulación (aire acondicionado, calefactor, lavadora y ventilador) y seis más (lavatrastes, estufa, microondas, secadora, refrigerador y un foco). Los datos de los otros seis dispositivos son obtenidos a partir de la base de datos del sitio Kaggle (<https://www.kaggle.com/uciml/electric-power-consumption-data-set>) bajo el nombre de Household Electric Power Consumption, esta base de datos contiene 2075259 registros, los datos son series de tiempo. Las mediciones se realizaron en el periodo de Diciembre de 2006 y Noviembre 2010 (conformado por 47 meses). Los campos de sub_metering_1, sub_metering_2 y sub_metering_3 contienen los datos de consumo de un conjunto de dispositivos definidos para cada uno. El lavatrastes, estufa y microondas son tres de los dispositivos que se encuentran agrupados y cuyo consumo se encuentra reportado en el campo sub_metering_1. La lavadora, secadora, refrigerador, 1 foco son considerados en el grupo que se reporta en sub_metering_2. Y en sub_metering_3 se encuentran considerados un calentador eléctrico y un aire acondicionado.

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

Se generan vectores de diez parámetros, cada parámetro representa la información de un dispositivo. Por cada hora del día se generan dos vectores uno que guarda el estado y otro que guarda el consumo de los dispositivos. La generación de los vectores se hace de manera secuencial en el rango de 0 a 23, para cada hora se selecciona de manera aleatoria un ensayo contenido en las matrices de salida de la simulación. En el ensayo se busca el estado del dispositivo en la hora para la cual se está generando el vector, si este se encontraba encendido entonces se busca en el mismo número de ensayo en la matriz de consumos lo consumido por el dispositivo, esto para cada uno de los dispositivos simulados. Para los dispositivos que no fueron simulados, se busca su consumo en la base de datos de consumo; esto se hace seleccionando de manera aleatoria uno de los registros filtrados para la hora que se está formando el vector, y se identifica si se realizó algún consumo en el campo donde se encuentra contenido el dispositivo. En caso de identificar que hubo un consumo, se selecciona de manera aleatoria una de las posibles combinaciones de estado del conjunto de dispositivos que se encuentran contenidos en el mismo campo, estos estados son guardados en las posiciones que les corresponda en el vector, en las mismas posiciones son almacenados los consumos en el vector de consumo. Los consumos para los dispositivos no simulados son obtenidos aleatoriamente en el rango de consumo mínimo y máximo identificados para estos dispositivos. En la Fig. 3.20 se muestra el diagrama de generación de los vectores de estado y consumo de los dispositivos. En la Fig. 3.21 se muestra un ejemplo de generación de los vectores siguiendo el diagrama de la Fig. 3.20.

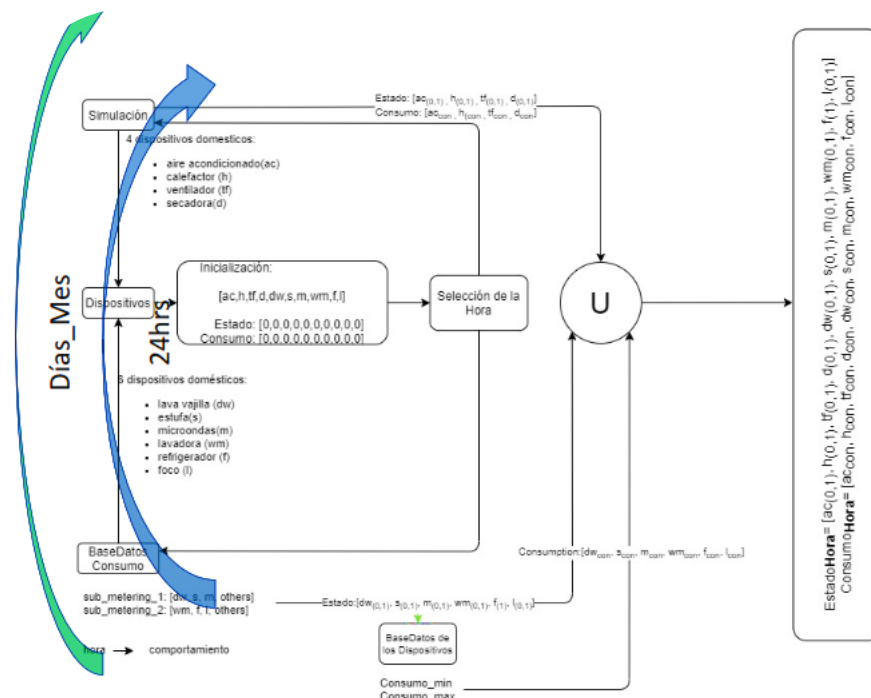


Fig. 3.20 Diagrama de generación de vectores de estado y consumo

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

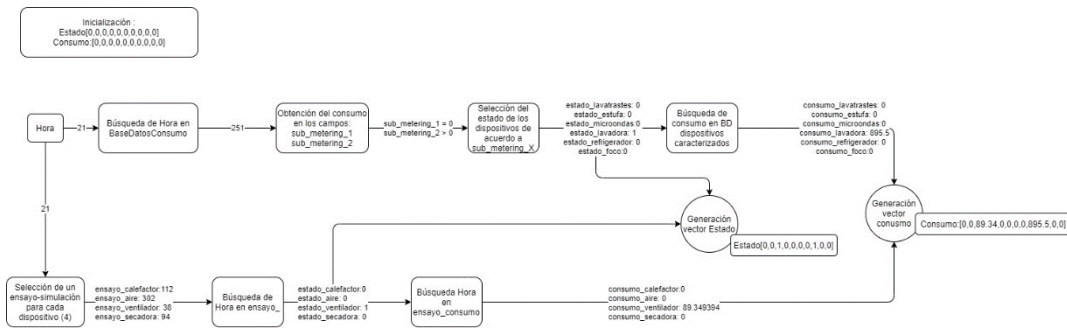


Fig. 3.21 Ejemplo de generación de estado y consumo

El código que genera los vectores de estado y consumo de los dispositivos se desarrolló en el lenguaje Python, Jupyter de Anaconda. El código de generación se presenta en *Código 3.4*.

Código 3.4 Generación de perfiles de Consumo para el conjunto de Dispositivos

```

def generacion(d):
    calefactor=pd.read_csv("Calefactor.csv")
    ensayo_calefactor=np.random.randint(len(calefactor))

    aire=pd.read_csv("AireAcond.csv")
    ensayo_aire=np.random.randint(len(aire))

    ventilador=pd.read_csv("Ventilador.csv")
    ensayo_ventilador=np.random.randint(len(ventilador))

    secadora=pd.read_csv("Secadora.csv")
    ensayo_secadora=np.random.randint(len(secadora))

    encendCalefactor=[0 for i in range(24)]
    encendAire=[0 for i in range(24)]
    encendVentilador=[0 for i in range(24)]
    encendSecadora=[0 for i in range(24)]

    for i in range(24):
  
```

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

```
encendCalefactor[i]=calefactor.iloc[ensayo_calefactor,i]
encendAire[i]=aire.iloc[ensayo_aire,i]
encendVentilador[i]=ventilador.iloc[ensayo_ventilador,i]
encendSecadora[i]=secadora.iloc[ensayo_secadora,i]

calefactorC=pd.read_csv("Calefactor_Consumo.csv")
aireC=pd.read_csv("AireAcond_Consumo.csv")
ventiladorC=pd.read_csv("Ventilador_Consumo.csv")
secadoraC=pd.read_csv("Secadora_Consumo.csv")

calef_consumo=[0 for i in range(24)]
aire_consumo=[0 for i in range(24)]
ventilador_consumo=[0 for i in range(24)]
secadora_consumo=[0 for i in range(24)]

for i in range(24):
    calef_consumo[i]=calefactorC.iloc[ensayo_calefactor,i]
    aire_consumo[i]=aireC.iloc[ensayo_aire,i]
    ventilador_consumo[i]=ventiladorC.iloc[ensayo_ventilador,i]
    secadora_consumo[i]=secadoraC.iloc[ensayo_secadora,i]

df=pd.DataFrame(columns=('Hora','Calefactor','Aire','Ventilador','Secadora','Lavatrastes','Estufa','Microondas','Lavadora','Refrigerador','Foco'))
df2=pd.DataFrame(columns=('Hora','Calefactor','Aire','Ventilador','Secadora','Lavatrastes','Estufa','Microondas','Lavadora','Refrigerador','Foco'))

for i in range(24):
    df=df.append({'Hora':i,'Calefactor':encendCalefactor[i],'Aire':encendAire[i],'Ventilador':encendVentilador[i],'Secadora':encendSecadora[i]}, ignore_index=True)
    df2=df2.append({'Hora':i,'Calefactor':calef_consumo[i],'Aire':aire_consumo[i],'Ventilador':ventilador_consumo[i],'Secadora':secadora_consumo[i]}, ignore_index=True)

df.to_csv('VectorEstado.csv')
df2.to_csv('VectorConsumo.csv')
vector_estado = pd.read_csv("VectorEstado.csv")
vector_estado=vector_estado.drop(vector_estado.columns[[0]],axis=1)
```

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

```
vector_consumo = pd.read_csv("VectorConsumo.csv")
vector_consumo=vector_consumo.drop(vector_consumo.columns[[0]],axis=1)

BaseDatosConsumo=pd.read_csv("household_power_consumptionSumaFiltrado.csv")

for i in range(24):
    BDCFiltrada=BaseDatosConsumo[BaseDatosConsumo.hour_==i]
    NumRegistro=np.random.randint(len(BDCFiltrada))#Selecciona un registro de la base "filtrada con suma de totales"
    #BDCFiltrada.iloc[NumRegistro,:]
    sub_metering_1=np.random.randint(2)#BDCFiltrada.iloc[NumRegistro,3]
    sub_metering_2=np.random.randint(2)#BDCFiltrada.iloc[NumRegistro,4]
    estado_vector=[0,0,0]
    if sub_metering_1==0:
        vector_estado.loc[i,'Lavatrastes']=0
        vector_estado.loc[i,'Estufa']=0
        vector_estado.loc[i,'Microondas']=0
    else:
        estado_vector=estado_sub()
        vector_estado.loc[i,'Lavatrastes']=estado_vector[0]
        vector_estado.loc[i,'Estufa']=estado_vector[1]
        vector_estado.loc[i,'Microondas']=estado_vector[2]

    estado_vector=[0,0,0]
    if sub_metering_2==0:
        vector_estado.loc[i,'Lavadora']=0
        vector_estado.loc[i,'Refrigerador']=0
        vector_estado.loc[i,'Foco']=0
    else:
        estado_vector=estado_sub()
        vector_estado.loc[i,'Lavadora']=estado_vector[0]
        vector_estado.loc[i,'Refrigerador']=estado_vector[1]
        vector_estado.loc[i,'Foco']=estado_vector[2]

dispositivos = pd.read_csv("Dsp-Prom_original.csv")
```

```
Dsp=pd.DataFrame(dispositivos)
Dsp=Dsp.dropna() # elimina filas que contienen algun valor nulo

columnas=vector_estado.columns
for fil in range(24):
    for col in range(5,len(columnas)):
        a=vector_estado.loc[fil,columnas[col]]
        if a==1:
            aux_registro=Dsp.loc[:, 'Dispositivo']==columnas[col]
            registro=Dsp.loc[aux_registro]
            lim_inf=registro.iloc[0,1]
            lim_sup=registro.iloc[0,3]
            consumo_aleatorio=np.random.uniform(lim_inf,lim_sup)
            vector_consumo.loc[fil,columnas[col]]=consumo_aleatorio
        else:
            vector_consumo.loc[fil,columnas[col]]=0

vector_consumo['Dia']=d
vector_estado['Dia']=d
return vector_consumo,vector_estado
```

3.3 Módulo de Predicción

Se genera una propuesta de consumo de los dispositivos que cumplen con el objetivo de implementación del sistema (Ni & Paudyal, 2017), el cual se representa en la función objetivo obtenida en el modelado matemático del comportamiento del consumo de los dispositivos.

3.3.1 Modelado matemático del consumo de los dispositivos

El modelo matemático [(Javaid, Naseem, et al., 2017), (Nadeem et al., 2018), (Javaid, Hussain, et al., 2017), (Ramírez-Mendiola et al., 2017)] se realiza identificando a que tipo de dispositivo pertenece el dispositivo (Interrumpible, No Interrumpible, Flexible y No Flexible)[(Alam et al., 2016)(S. Kakran & Chanana, 2018), (B. Silva et al., 2018)]. La nomenclatura que se utiliza para la representación en el modelo matemático es la que se muestra en la *Tabla 3.2*.

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

Tabla 3.2 Nomenclatura

Símbolo	Representa
A	Conjunto de dispositivos
a_i	i-ésimo dispositivo eléctrico
A_I	Conjunto de dispositivos interrumpibles
A_{NI}	Conjunto de dispositivos no-interrumpibles
A_F	Conjunto de dispositivos flexibles
A_{NF}	Conjunto de dispositivos no-flexibles
m	Número de dispositivos del hogar
n	Número de dispositivos interrumpibles
p	Número de dispositivos no-interrumpibles
q	Número de dispositivos flexibles
r	Número de dispositivos no-flexibles
λ	Consumo eléctrico
ε	Consumo total diario
α	Conjunto de los estados de los dispositivos
T	Conjunto de los momentos considerados para el consumo eléctrico
τ	Elemento del conjunto T
0	Apagado
1	Encendido
Υ^τ	Consumo por hora
ε_{opt}	Consumo óptimo
σ_a	Tiempo de inicio de la ventana
ψ_a	Tiempo de fin de la ventana
ξ_a	Tiempo frecuente de funcionamiento
ζ_{a_i}	Hora de inicio del funcionamiento del dispositivo a_i

Al conjunto de dispositivos que se encuentra dentro de una casa queda representado por A , y al i-ésimo dispositivo eléctrico se le representa con a_i . En el conjunto A , hay cuatro subconjuntos (1), dónde cada subconjunto representa a un grupo de dispositivos (2).

$$A_I, A_{NI}, A_F, A_{NF} \in A \quad \text{y} \quad A = A_I \cup A_{NI} \cup A_F \cup A_{NF} \quad (1)$$

$$a_I \in A_I, \quad a_{NI} \in A_{NI}, \quad a_F \in A_F, \quad a_{NF} \in A_{NF} \quad (2)$$

El estado de los dispositivos en el momento τ está representado por (3), dónde 0 significa apagado y 1 encendido.

$$\alpha(\tau) = [0,1] \quad (3)$$

En el modelo se consideran 24 momentos (4).

$$\tau \in T, \quad T = [\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{24}] \quad (4)$$

La cardinalidad de A , y sus elementos se representan en (5) y (6)

$$|A| = m, \quad |A_I| + |A_{NI}| + |A_F| + |A_{NF}| = n + p + q + r = m \quad (5)$$

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \quad (6)$$

En el conjunto A se pueden tener dispositivos pertenecientes a un mismo tipo de dispositivo pero que se identifican con identificadores diferentes, lo que se representa en la propiedad 1.

Propiedad 1.

$$\exists a_i, a_j \in A \quad a_i = a_j \quad \text{si } i \neq j$$

La función de consumo de los dispositivos (7) toma a los elementos del conjunto A en cada uno de los momentos contemplados en T , y genera el consumo medido en watts. El consumo por hora de un dispositivo en un momento específico esta dado en (8).

$$\varepsilon: A \times T \rightarrow \mathbb{R}^+ \quad (7)$$

$$\varepsilon(a_i, \tau_i) = Y_{a_i}^\tau \quad (8)$$

El consumo total del conjunto se representa en (9), que es la suma del consumo que realizan todos los dispositivos en un día. El consumo por hora (10) de todos los dispositivos es la suma del consumo que se realiza en un momento específico por parte de cada uno de los grupos de dispositivos.

$$\varepsilon = \varepsilon_I + \varepsilon_{NI} + \varepsilon_F + \varepsilon_{NF} \quad (9)$$

$$Y^\tau = Y_I^\tau + Y_{NI}^\tau + Y_F^\tau + Y_{NF}^\tau \quad (10)$$

Los consumos mínimos por día y por hora quedan representados en (11) y (12) respectivamente.

$$\varepsilon_{min} = \varepsilon_{NF} = \sum_{a_{NF} \in A_{NF}} \sum_{\tau=1}^T Y_{a_{NF}}^\tau \quad (11)$$

$$Y_{min}^\tau = \sum_{a_{NF} \in A_{NF}} Y_{NF}^\tau \quad \forall \tau, \tau \in T \quad (12)$$

Y los consumos máximos por día y por hora, se representan en (13) y (14) respectivamente. Para los máximos se considera que el estado de todos los dispositivos es de encendido.

$$\varepsilon_{max} = \varepsilon_I + \varepsilon_{NI} + \varepsilon_F + \varepsilon_{NF} = \sum_{a_i \in A} \sum_{\tau=1}^T Y_{a_i}^\tau, \quad \alpha_{a_i}(\tau) = 1 \quad (13)$$

$$Y_{max}^\tau = Y_I^\tau + Y_{NI}^\tau + Y_F^\tau + Y_{NF}^\tau = \sum_{a_i \in A} Y_{a_i}^\tau \quad \forall \tau, \tau \in T \quad (14)$$

Para el modelo se identifica que $\varepsilon_{min} < \varepsilon_{opt} < \varepsilon_{max}$, dónde ε_{opt} cumple con las necesidades del usuario, minimizar el consumo y los reducir los picos de voltaje.

Subconjunto A_I

A_I representa al subconjunto conformado por los dispositivos que pertenecen al grupo identificado como interrumpibles, y $a_{Ii} \in A_I$.

Se tiene que,

$$A_I = \{a_{I1}, a_{I2}, \dots, a_{In}\} \quad (15)$$

$$|A_I| = n < m, \text{ donde } n \text{ es la cardinalidad de } A_I \quad (16)$$

$$\exists a_{Ii}, a_{Ij} \in A_I, i \neq j \rightarrow a_{Ii} = a_{Ij} \quad (17)$$

El consumo total del subconjunto A_I se obtiene a partir de (18) y representa la suma del consumo total de cada uno de los dispositivos que pertenece a este subconjunto y cuya consideración depende del estado del dispositivo (encendido/apagado) para cada momento.

$$\varepsilon_I = \sum_{a_{Ii} \in A_{Ii}} \left[\sum_{\tau=1}^T (\Upsilon_{a_{Ii}}^\tau \times \alpha_{a_{Ii}}(\tau)) \right] \quad (18)$$

El consumo parcial que se obtiene en (19), es la suma del consumo que realizan todos los dispositivos que se encuentran encendidos en el momento τ .

$$\Upsilon_I^\tau = \sum_{a_{Ii} \in A_I} (\Upsilon_{a_{Ii}}^\tau \times \alpha_{a_{Ii}}(\tau)) \quad \forall \tau, \tau \in T \quad (19)$$

Una ventana representa el intervalo de horas entre las cuales puede funcionar un dispositivo $[\sigma_{a_I}, \psi_{a_I}]$. Para definir la ventana de un dispositivo se identifican cuatro parámetros: la hora en la cual puede ser encendido $\sigma_{a_{Ii}}$, la hora para cual ya no se encenderá $\psi_{a_{Ii}}$, el tiempo frecuente de funcionamiento $\xi_{a_{Ii}}$, y la hora $\zeta_{a_{Ii}}$ en la cual se ha encendido el dispositivo a_{Ii} . Estos cuatro parámetros cumplen (20), (21) y (22).

$$\sigma_{a_{Ii}} \leq \psi_{a_{Ii}} \quad (20)$$

$$\zeta_{a_I} \geq \sigma_{a_I} \quad \text{y} \quad \zeta_{a_I} \leq \psi_{a_I} - \xi_{a_I} \quad (21)$$

$$\zeta_{a_I} \in [\sigma_{a_I}, \psi_{a_I} - \xi_{a_I}] \quad (22)$$

Subconjunto A_{NI}

El subconjunto de dispositivos No-Interrumpibles se representa por A_{NI} , y cada uno de los elementos de este subconjunto se identifican por a_{NIi} . Así que, $a_{NIi} \in A_{NI}$ y

$$A_{NI} = \{A_{NI1}, A_{NI2}, \dots, A_{NI n}\} \quad (23)$$

Para el subconjunto A_{NI} , se tiene

$$|A_{NI}| = p < m, p \text{ representa cardinalidad del subconjunto} \quad (24)$$

$$\exists a_{NIi}, a_{NIj} \in A_{NI}, i \neq j \rightarrow a_{NIi} = a_{NIj} \quad (25)$$

El consumo total del subconjunto A_{NI} se obtiene con (26), y el consumo por hora se obtiene con (27).

$$\varepsilon_{NI} = \sum_{a_{NI} \in A_{NI}} \left[\sum_{\tau=1}^T (\Upsilon_{a_{NI}}^{\tau} \times \alpha_{a_{NI}}(\tau)) \right] \quad (26)$$

$$\Upsilon_{NI}^{\tau} = \sum_{a_{NI} \in A_{NI}} (\Upsilon_{a_{NI}}^{\tau} \times \alpha_{a_{NI}}(\tau)) \quad \forall \tau, \tau \in T \quad (27)$$

Los parámetros que simbolizan el inicio y fin del intervalo de la ventana son $\sigma_{a_{NI}}, \psi_{a_{NI}}$. Se cumple que $\sigma_{a_{NI}} \leq \psi_{a_{NI}}$ tomando en cuenta que $\sigma, \psi \in T$ y que el tiempo frecuente de funcionamiento del dispositivo se representa por $\xi_{a_{NI}}$. La ventana se define con (28) y (29).

$$\zeta_{a_{NI}} \geq \sigma_{a_{NI}} \quad y \quad \zeta_{a_{NI}} \leq \psi_{a_{NI}} - \xi_{a_{NI}} \quad (28)$$

$$\zeta_{a_{NI}} \in [\sigma_{a_{NI}}, \psi_{a_{NI}} - \xi_{a_{NI}}] \quad (29)$$

Subconjunto A_F

Al subconjunto conformado por el grupo de los dispositivos flexibles se le representa por A_F , y a sus elementos por a_{Fi} . Así, $a_{Fi} \in A_F$.

$$A_F = \{A_{F1}, A_{F2}, \dots, A_{Fq}\} \quad (30)$$

La cardinalidad del subconjunto $|A_F| = q$, dónde $q < m$.

Se tiene que,

$$\exists a_{Fi}, a_{Fj} \in A_F, i \neq j \rightarrow a_{Fi} = a_{Fj} \quad (31)$$

El consumo total que realiza este subconjunto se calcula con (32) y el consumo por hora con (33).

$$\varepsilon_F = \sum_{a_F \in A_F} \left[\sum_{\tau=1}^T (\Upsilon_{a_F}^{\tau} \times \alpha_{a_F}(\tau)) \right] \quad (32)$$

$$\Upsilon_F^{\tau} = \sum_{a_F \in A_F} (\Upsilon_{a_F}^{\tau} \times \alpha_{a_F}(\tau)) \quad \forall \tau, \tau \in T \quad (33)$$

Para definir la ventana se usan los parámetros σ_{a_F}, ψ_{a_F} que identifican el inicio y fin de del intervalo de la ventana. Cumpliéndose que $\sigma_{a_F} \leq \psi_{a_F}$, y teniendo que ξ_{a_F} identifica al tiempo frecuente de funcionamiento de un dispositivo flexible, cumpliéndose que (34) y definiendo (35).

$$\zeta_{a_F} \geq \sigma_{a_F} \quad y \quad \zeta_{a_F} \leq \psi_{a_F} - \xi_{a_F} \quad (34)$$

$$\zeta_{a_F} \in [\sigma_{a_F}, \psi_{a_F} - \xi_{a_F}] \quad (35)$$

Subconjunto A_{NF}

El grupo de dispositivos No-Flexibles se encuentra dentro del subconjunto A_{NF} , a cada uno de sus elementos se le identifica con a_{NF_i} , y la cardinalidad de este subconjunto es r . Así, se tiene (36), (37) y (38).

$$a_{NF_i} \in A_{NF} \quad (36)$$

$$A_{NF} = \{A_{NF1}, A_{NF2}, \dots, A_{NF_r}\} \quad (37)$$

$$|A_{NF}| = r \leq m \quad (38)$$

Para este subconjunto es posible tener dos o más dispositivos que pertenezcan a un mismo tipo de dispositivo y se identifiquen diferente (39).

$$\exists a_{NF_i}, a_{NF_j} \in A_{NF}, i \neq j \rightarrow a_{NF_i} = a_{NF_j} \quad (39)$$

El consumo total del subconjunto A_{NF} , se obtiene con (40). Los dispositivos del subconjunto A_{NF} al no ser apagados ni puestos en pausa cumplen (41), así para calcular el consumo total se reduce a (42).

$$\varepsilon_{NF} = \sum_{a_{NF} \in A_{NF}} \left[\sum_{\tau=1}^T \left(\Upsilon_{a_{NF}}^{\tau} \times \alpha_{a_{NF}}(\tau) \right) \right] \quad (40)$$

$$\forall a_{NF}, \alpha_{a_{NF}}(\tau) = 1 \quad (41)$$

$$\varepsilon_{NF} = \sum_{a_{NF} \in A_{NF}} \left[\sum_{\tau=1}^T \Upsilon_{a_{NF}}^{\tau} \right] = \sum_{a_{NF} \in A_{NF}} \sum_{\tau=1}^T \Upsilon_{a_{NF}}^{\tau} \quad (42)$$

El consumo por hora del subconjunto A_{NF} tomando en cuenta que se cumple (41), se obtiene a partir de (43).

$$\Upsilon_{NF}^{\tau} = \sum_{a_{NF} \in A_{NF}} \left(\Upsilon_{a_{NF}}^{\tau} \times \alpha_{a_{NF}}(\tau) \right) = \sum_{a_{NF} \in A_{NF}} \Upsilon_{a_{NF}}^{\tau} \quad \forall \tau, \tau \in T \quad (43)$$

El intervalo de ventana del subconjunto A_{NF} se define en un intervalo de 24 horas, pues los dispositivos en este subconjunto son de funcionamiento continuo.

Matriz de consumos y Función objetivo

A partir de (19), (27), (33) y (43) es posible generar una matriz de consumo M_{ε} por hora de cada uno de los dispositivos que se encuentran identificados.

$$M_{\varepsilon} = \begin{bmatrix} Y_{I1}^{\tau_1} & \dots & Y_{In}^{\tau_1} & Y_{NI1}^{\tau_1} & \dots & Y_{NIp}^{\tau_1} & Y_{F1}^{\tau_1} & \dots & Y_{Fq}^{\tau_1} & Y_{NF1}^{\tau_1} & \dots & Y_{NFr}^{\tau_1} \\ \vdots & \ddots & & & & & \vdots & & & & & \\ Y_{I1}^{\tau_{24}} & \dots & Y_{In}^{\tau_{24}} & Y_{NI1}^{\tau_{24}} & \dots & Y_{NIp}^{\tau_{24}} & Y_{F1}^{\tau_{24}} & \dots & Y_{Fq}^{\tau_{24}} & Y_{NF1}^{\tau_{24}} & \dots & Y_{NFr}^{\tau_{24}} \end{bmatrix} \quad (44)$$

La función objetivo que se define después de haber identificado el consumo total, por hora, y sabiendo que lo que se busca es minimizar el consumo de un sistema de demanda se obtiene (45).

$$\text{mín } \sum_{\tau=1}^T (\sum_{a_i \in A} Y_{a_i}^{\tau}) \quad (45)$$

El modelo matemático desarrollado se aplica al conjunto de los diez dispositivos, y quedando de la siguiente manera:

$$A = \{\text{ventilador, aire acondicionado, estufa, foco, calefactor, lavatrastes, microondas, secadora, lavadora, refrigerador}\} \quad (46)$$

Sustituyendo en (15), (23), (30), (37), queda

$$A_I = \{\text{ventilador, aire acondicionado, estufa, foco}\} \quad (47)$$

$$A_{NI} = \{\text{calefactor, lavatrastes, microondas}\} \quad (48)$$

$$A_F = \{\text{secadora, lavadora}\} \quad (49)$$

$$A_{NF} = \{\text{refrigerador}\} \quad (50)$$

De (19), (27), (33) y (43) se obtiene

$$Y_I^{\tau} = (\text{ventilador}_{consumo} \times \alpha_{\text{ventilador}_I}(\tau) + \text{aire acondicionado}_{consumo} \times \alpha_{\text{aire acondicionado}_I} + \text{estufa}_{consumo} \times \alpha_{\text{estufa}_I} + \text{foco}_{consumo} \times \alpha_{\text{foco}_I}) \quad \forall \tau, \tau \in T \quad (51)$$

$$Y_{NI}^{\tau} = (\text{calefactor}_{consumo} \times \alpha_{\text{calefactor}_{NI}} + \text{lavatrastes}_{consumo} \times \alpha_{\text{lavatrastes}_{NI}} + \text{microondas}_{consumo} \times \alpha_{\text{microondas}_{NI}}) \quad \forall \tau, \tau \in T \quad (52)$$

$$Y_F^{\tau} = (\text{secadora}_{consumo} \times \alpha_{\text{secadora}_F} + \text{lavadora}_{consumo} \times \alpha_{\text{lavadora}_F}) \quad \forall \tau, \tau \in T \quad (53)$$

$$Y_{NF}^{\tau} = (\text{refrigerador}_{consumo} \times (1)) \quad \forall \tau, \tau \in T \quad (54)$$

De (45), la función objetivo para este grupo de dispositivos queda como se muestra en (55)

$$\min \sum_{a_i \in A} Y_{a_i}^T = \min(Y_I^T + Y_{NI}^T + Y_F^T + Y_{NF}^T) \quad (55)$$

3.4 Búsqueda del consumo óptimo

Para realizar la búsqueda del consumo óptimo se implementan técnicas o procedimientos que den cumplimiento a los objetivos particulares de implementación [(Clerc & Kennedy, 2002), (Parsa, 2017), (A. Zhou, Qu, Li, Zhao, & Nagaratnam, 2011), (Rasheed et al., 2016)]. Al proceso de encontrar el resultado que minimice al objetivo para dar una respuesta que resuelva el problema se le llama optimización. En el caso particular de encontrar los consumos de cada uno de los dispositivos que garanticen que se reduce al mínimo el consumo total en un momento dado en un tiempo razonable no existe, por lo cual a este tipo de problema según la teoría de la complejidad computacional se le clasifica como un problema difícil (Huang et al., 2015). Para la resolución de este tipo de problemas se plantea el uso de técnicas que evalúen un aparte del espacio de búsqueda de soluciones y no todo el conjunto de ellas, estas técnicas se les denomina algoritmos bio-inspirados [(Crowcroft, 2008), (Fernandez-Marquez, Di Marzo Serugendo, Montagna, Viroli, & Arcos, 2013)]. Estos algoritmos buscan buenas soluciones en un tiempo computacional razonable haciendo un consumo aceptable de recursos, acostado de garantizar encontrar la mejor solución. La función objetivo es la que cuantifica la adecuación del objetivo de búsqueda (Esmaeili et al., 2018).

3.4.1 Optimización por Cúmulo de Partículas (PSO).

PSO es un algoritmo bioinspirado desarrollado por Kennedy y Eberhart en el año de 1995 (Kennedy & Eberhart, 1995). Éste algoritmo ha sido teóricamente analizado y su convergencia ha sido validada, por lo cual es un algoritmo muy confiable a diferencia de otros [(Selvarajah, Kadirkamanathan, & Fleming, 2006), (Clerc & Kennedy, 2002), (Trelea, 2003), (D. H. Kim & Shin, 2006), (Emara & Fattah, 2004), (Jiang, Luo, & Yang, 2007), (Zeng, Zhang, & Yan, 2010), (Lian & Zhu, 2008), (Van Den Bergh & Engelbrecht, 2006)]

Descripción del algoritmo PSO.

El algoritmo de optimización por Cúmulo de Partículas (PSO) (ver *Fig. 3.21*) es una metáfora del comportamiento social de las aves y los peces. PSO es un algoritmo de optimización de búsqueda estocástica conformada por cúmulo de partículas, donde cada partícula es un candidato de solución, el valor de esta se determina por la función objetivo. Cada una de las partículas se mueve a través del cúmulo ajustando sus trayectorias para encontrar la mejor solución. La posición de cada una de las partículas, x_i , se determina por la velocidad v_i , coeficiente de aceleración, inercia y tamaño del cúmulo de partículas.

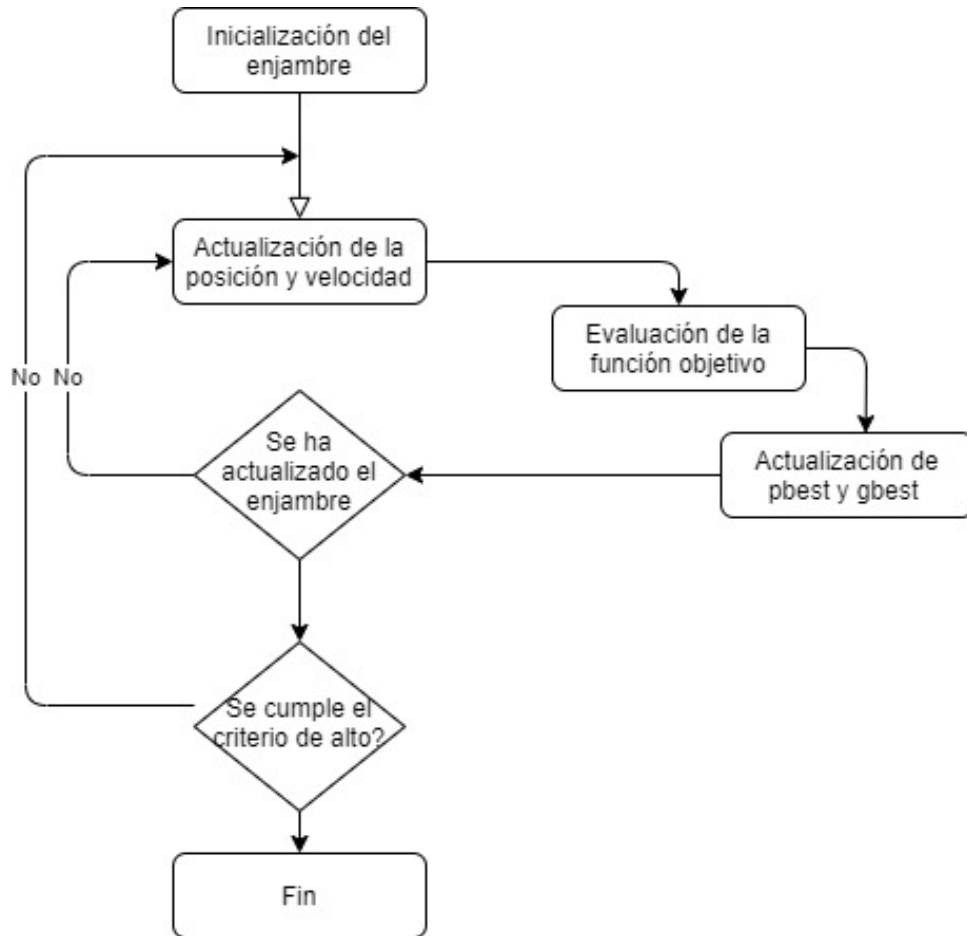


Fig. 3.22 Diagrama del algoritmo PSO, fuente (Soto et al., *Ensembles of type 2 Fuzzy Neural Models and their Optimization with Bio-inspired Algorithms for Time Series Prediction*, Springer, 2018)

Las ecuaciones que definen la velocidad y la posición de las partículas son:

$$v_{ij}(t + 1) = v_{ij}(t) + \varphi_{1j}(t) (y_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + \varphi_{2j}(t) (\hat{y}_{ij}(t) - x_{ij}(t)) \quad \text{ec. (1)}$$

$$x_{ij}(t + 1) = x_{ij}(t) + v_{1j}(t + 1) \quad \text{ec. (2)}$$

Capítulo 3. Metodología para el Análisis del Consumo Eléctrico

En la *Tabla 3.3* se da la descripción de los parámetros.

Tabla 3.3 Descripción de los parámetros de las ecuaciones de velocidad y posición

Parámetro	Descripción
i	$1, \dots, s$
j	$1, \dots, n$
$\varphi_{1j}(t)$	$c_1 r_{1j}(t)$
$\varphi_{2j}(t)$	$c_2 r_{2j}(t)$
s	es el número de partículas en el enjambre
n	Número de parámetros de la función que va a ser optimizada
c_1, c_2	Coefficientes de aceleración $0 < c_1, c_2 < 1$
$r_{1j}(t), r_{2j}(t)$	$\sim U(0,1)$
$x_i(t)$	Es la posición de la partícula i en el momento t
$v_i(t)$	Es la velocidad de la partícula i en el momento t
$y_i(t)$	Es la mejor solución particular encontrada por la partícula i en el momento t
$\hat{y}_i(t)$	Es la mejor posición global encontrada por la partícula i en el momento t

Dónde las constantes se encuentran en el rango de $0 < c_1, c_2 < 1$, y r_1, r_2 son número aleatorios uniformemente distribuidos en el intervalo de $(0,1)$ entonces el algoritmo converge [(D. H. Kim & Shin, 2006),(Van Den Bergh & Engelbrecht, 2006),(Jiang et al., 2007),(Trelea, 2003)]

De la *ec.(1)*, la velocidad de la partícula es determinada por los parámetros que se describen en la *Tabla 3.5*.

Tabla 3.4 Descripción de los parámetros de la ecuación de velocidad

Parámetro	Descripción
$v_i(t)$	Sirve para prevenir la oscilación en la búsqueda de la dirección
$\varphi_1(t)(y_i(t) - x_i(t))$	Componente cognitivo. El cual representa la distancia de la partícula a la mejor solución $y_i(t)$ encontrada por ella. El componente cognitivo le sirve a cada partícula para regresar a donde ha encontrado la mejor solución
$\varphi_2(t)(\hat{y}_i(t) - x_i(t))$	Componente social. Este representa la distancia entre la partícula y la mejor posición global. El componente social representa la tendencia de cada partícula para lograr el éxito de las otras partículas.

$\hat{y}_i(t)$ Representa la mejor solución global encontrada por la partícula i.

El pseudo-código (*Pseudo-código 3.1*) PSO con una función objetivo de minimización.

Pseudo-código 3.1

```
Se crea e inicializa el cumulo de partículas de n-dimensiones
repeat
  for cada_particula i=1,...,s
    if  $f(S \cdot x_i) < f(S \cdot y_i)$ 
       $S \cdot y_i < S \cdot x_i$ 
    if  $f(S \cdot y_i) < f(S \cdot \hat{y})$ 
       $S \cdot \hat{y} < S \cdot y_i$ 
  for cada_particula i=1,...,s
    actualizar la velocidad usando la ec. (1)
    actualizar la posición usando la ec. (2)
until condición_paro es verdadera
```

3.4.2 PSO aplicado a la búsqueda del consumo óptimo.

En nuestro caso particular de aplicación del algoritmo PSO para la búsqueda del estado óptimo de los dispositivos, el espacio de búsqueda se conforma por los vectores de consumo de 10 dispositivos (ventilador, aire acondicionado, estufa, foco, calefactor, lavatrastes, microondas, secadora, lavadora, refrigerador), y un enjambre de 1000 partículas.

El objetivo de la implementación es la búsqueda del consumo mínimo del conjunto de los diez dispositivos. Para llevar a cabo el experimento, la inercia es de 0.8, el peso cognitivo es de 2, el peso social es 2. Los criterios de paro de la ejecución del programa son, ya sea de 50 ciclos o cuando el valor mínimo ya se ha repetido 5 veces. El código del algoritmo se escribió en el lenguaje Python usando el editor Jupyter en una máquina Dell Inspiron 15 5000 series con un procesador Intel Core i7, memoria ram de 8.0 Gb, y sistema operativo Windows 10.

La correspondencia del problema particular a resolver con el pseudo-código de PSO son:

- Cada uno de los elementos del espacio de búsqueda es un vector de 10 parámetros $[d1, \dots, d10]$, donde cada parámetro corresponde al consumo de un dispositivo en el momento m . Los vectores se crean a partir de los consumos mínimo y máximo que corresponde al dispositivo. Cada vector del espacio de búsqueda se crea colocando en cada parámetro un valor aleatorio obtenido del rango del consumo mínimo ($cMin$) y el consumo máximo ($cMax$) correspondientes al dispositivo.

$[ventilador_{consumo}, aire\ acondicionado_{consumo}, estufa_{consumo}, foco_{consumo},$

$calefactor_{consumo}, lavatrastes_{consumo}, microondas_{consumo}, secadora_{consumo},$
 $lavadora_{consumo}, refrigerador_{consumo}]$

- Se generan 1000 partículas, el mejor valor de la partícula (b_{part}) y el mejor global (b_{global}) se inicializan con el valor obtenido al evaluar la posición en la función objetivo.
- La función objetivo: en este problema el objetivo corresponde a un problema de minimización, y la función objetivo se define como $\min \sum_{a_i \in A} Y_{a_i}^t$.

En la función objetivo se evalúan los elementos del espacio de búsqueda, y si alguna de ellas cumple con el criterio de ser menor al actual almacenado en b_{global} entonces son actualizadas tanto la posición como el valor.

3.5 Resumen del capítulo

En este capítulo se describe la metodología a seguir para el desarrollo de un sistema de energía para el hogar. La metodología que se propone se encuentra conformada por tres módulos: Capa de sensores, Capa física y Predicción.

En el módulo de la capa de sensores se desarrolla la implementación de un simulador que sirve para hacer la emulación de los perfiles de uso y de consumo, esto al no contar con una arquitectura hardware de sensores para proveer de estos datos de consumo y uso. En este caso el simulador implementa el Método Monte Carlo para generar perfiles de uso y de consumo.

En el módulo de la capa física se presenta el diseño de la interfaz que interactúa tanto con los datos del módulo de la capa de sensores como con los del módulo de predicción. La interfaz implementa elementos visuales que le permiten al usuario poder interactuar con la interfaz para incluir los dispositivos que caracterizan el contexto, visualizar como quedan caracterizados cada una de las habitaciones del contexto, visualizar mediante graficas del consumo por escenario o por todo el contexto, y visualizar el consumo por dispositivo o todos los dispositivos.

En el módulo de predicción, donde se implementa la técnica de optimización por cúmulo de partículas para proponer el consumo que debería de realizar los dispositivos que caracterizan el contexto, y que además cumplen con la función objetivo obtenida a partir del modelado matemático de los dispositivos clasificados de acuerdo con la manera en la que funcionan.

Capítulo 4 Resultados

4.1 Módulo Capa de Sensores

Al implementar el simulador que se describe en el capítulo 3 sección 3.1 y con las variables inicializadas de acuerdo con el dispositivo que se desea simular, se generan 900 ensayos para cada uno de los cuatros dispositivos de los que se tiene su FDP (lavadora, calefactor, aire acondicionado y ventilador), obteniéndose cuatro matrices de 900 filas (número de ensayos) por 24 columnas (corresponde a las 24 horas que conforman un día). En una de las matrices se almacenan los horarios de encendido, en otra se guardan los tiempos de uso, en otra se almacenan el estado en el que se encuentra el dispositivo en cada una de las horas, y en la cuarta matriz se guarda el consumo que hace el dispositivo en cada una de las horas), también se generan dos arreglos de 900 elementos (el tiempo total de uso en cada uno de los ensayos, el consumo total en cada uno de los ensayos), y dos promedios (el tiempo promedio de uso, y el consumo promedio). Por cada vez que se usa el simulador se generan 900 nuevos ensayos.

En las Fig. 4.1 – Fig. 4.6 se muestran segmentos de la salida de la simulación de la lavadora (los datos usados para la simulación son los valores de las coordenadas obtenidos a partir de su grafica de FDP, estos valores se muestran en la Fig. 3.5 del capítulo 3). En la Fig. 4.1 se muestra el ensayo 8 de la matriz de los horarios, donde se muestra que el dispositivo se encendió a las 2, 13, 21 hrs. En la Fig. 4.2 se muestra que el tiempo que tarda encendido es de 0.6051, 0.3843y 0.1888 fracción de hora para cada una de las horas en las cuales se encendió respectivamente.

1	2	3	4	5	6	7	8
13	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
15	17	0	0	0	0	0	0
8	18	0	0	0	0	0	0
14	22	0	0	0	0	0	0
7	21	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
8	2	13	21	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
9	16	0	0	0	0	0	0
11	13	23	0	0	0	0	0
12	8	17	0	0	0	0	0
13	8	10	0	0	0	0	0
14	11	0	0	0	0	0	0
15	9	0	0	0	0	0	0

Fig. 4.1 Segmento de la matriz de horario.

1	2	3	4	5	6
0.3175	0	0	0	0	0
0.4806	0	0	0	0	0
0.3157	0.9387	0	0	0	0
0.9065	0.8087	0	0	0	0
0.1357	0.2551	0	0	0	0
0.2862	0.4009	0	0	0	0
0.3643	0	0	0	0	0
8	0.6051	0.3843	0.1888	0	0
9	0.2516	0	0	0	0
10	0.2073	0.1551	0	0	0
11	0.5851	0.2735	0	0	0
12	0.8895	0.4605	0	0	0
13	0.1174	0.7100	0	0	0

Fig. 4.2 Tiempo de encendido de cada uno de los horarios del ensayo 8

En la Fig. 4.3 es un segmento de la matriz de estados del ensayo 8 de la simulación, donde 1 significa encendido, en este segmento se observa que el dispositivo se encuentra encendido en los horarios marcados en la Fig. 4.1.

Capítulo 4. Resultados

Fig. 4.4 Segmento de la matriz de estados

En la *Fig. 4.4*, se muestran los consumos realizados por el dispositivo en cada una de las horas que estuvo funcionando.

Fig. 4.3 Consumos en cada uno de los momentos que el dispositivo estuvo encendido

En las *Fig. 4.5* se muestran los promedios de uso y en la *Fig. 4.6* se muestran los consumos promedio de cada uno de los ensayos. En las *Fig. 4.7* y *Fig. 4.8* se muestran los promedios generales de consumo y de tiempo de uso.

	1	2
1	0.3175	
2	0.4808	
3	0.6272	
4	0.8576	
5	0.1954	
6	0.3436	
7	0.8632	
8	0.3928	
9	0.2610	
10	0.1812	
11	0.4293	

Fig. 4.5 Tiempo promedio de uso en cada ensayo

	1	2
1	284.3105	
2	430.5634	
3	561.6729	
4	767.9825	
5	174.9820	
6	307.6613	
7	773.0030	
8	351.7132	

Fig. 4.6 Consumo promedio por ensayo

Capítulo 4. Resultados

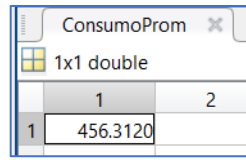


Fig. 4.8 Consumo promedio general

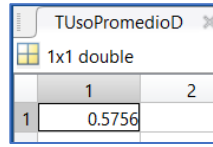


Fig. 4.7 Uso promedio general

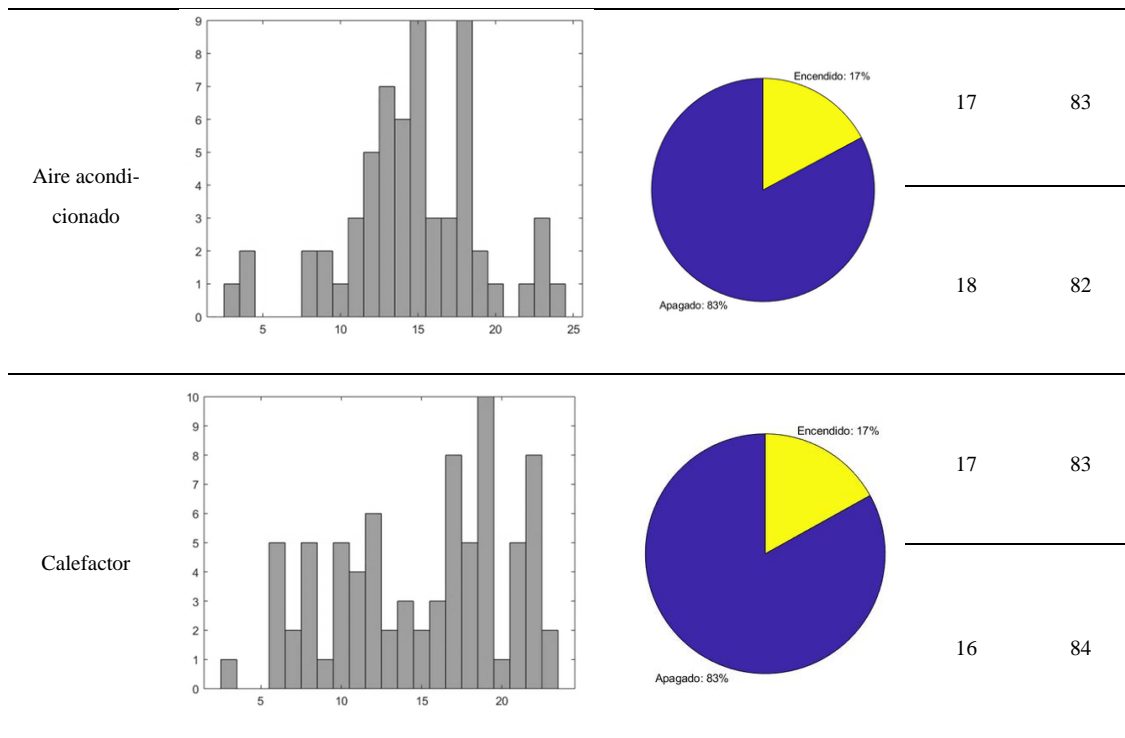
En la gráfica que se obtiene al analizar los ensayos generados en la simulación (gráfica de pastel en la *Tabla 4.1* que corresponde al dispositivo lavadora) se observa que el tiempo que dura encendido es de 7% y es de un 93% se encuentra apagado.

En la *Tabla 4.1* se presentan las gráficas que contabilizan los horarios de encendido y el porcentaje de tiempo que el dispositivo se encuentra encendido y apagado, así como los porcentajes habituales que el dispositivo se encuentran encendidos y apagados.

Tabla 4.1 Salida y porcentaje de uso

Dispositivo	Histograma de la frecuencia de hora de encendido del dispositivo	Porcentaje de encendido - apagado	Rango del porcentaje	
			Encendido	Apagado
Lavadora			6	94
			7	93
Ventilador			7	93
			8	92

Capítulo 4. Resultados



4.2 Módulo Capa Física

El diseño de la interfaz se enfoca en que la experiencia de uso sea entendible y rápida de entender. A través del uso de la interfaz se representa el espacio físico que se desea caracterizar. El diseño de la interfaz hace uso de iconos que le permitan al usuario interactuar de manera intuitiva. La caracterización de las habitaciones (Fig. 9) se hace identificando a los dispositivos eléctricos que se encuentran en él (Fig. 4.10).



Fig. 4.9 Selección e identificación del tipo de habitación



Fig. 4.10 Selección de dispositivo

Capítulo 4. Resultados

Una vez creadas las habitaciones, es posible hacer la visualización del consumo seleccionando ya sea el mes o la semana que se desee (Fig. 4.11 y Fig. 4.12). Si el periodo seleccionado es mensual, la visualización del consumo puede hacerse por dispositivo o por escenario. En la visualización del consumo por dispositivo, se presenta una gráfica que proyecta el consumo en el transcurso del mes, así como el porcentaje al que corresponde de acuerdo con el consumo total (Fig. 4.13). En la opción de la visualización por escenario, se muestran los consumos y el porcentaje de cada uno de los escenarios para el periodo seleccionado (Fig. 4.14).



Fig. 4.11 Selección del mes



Fig. 4.12 Selección de la semana

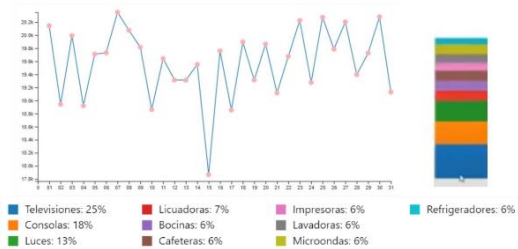


Fig. 4.14 Graficación mensual por dispositivo

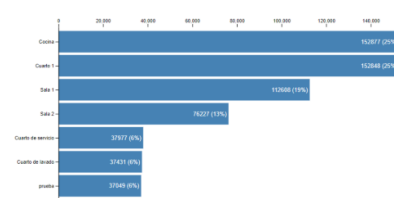


Fig. 4.13 Graficación mensual por habitación

Si el periodo de la visualización es semanal (Fig. 4.12), la gráfica que se muestra para esta opción muestra los porcentajes de consumo por conjunto de dispositivos-día (Fig. 4.15).

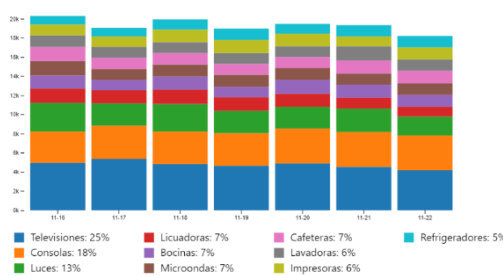


Fig. 4.15 Graficación semanal

Capítulo 4. Resultados

En el módulo de fusión se crean los perfiles de consumo y estado de diez dispositivos (calefactor, aire acondicionado, ventilador, secadora, lava trastes, estufa, microondas, lavadora, refrigerador, foco), los datos que corresponden a los dispositivos lavadora, ventilador, calefactor y aire acondicionado son proporcionados por el simulador, y los datos de los seis dispositivos restantes son generados en este módulo como se describe en la sección 3.2.2. Se muestra un extracto de uno de los 12 archivos que se generan del consumo (Fig. 4.16) y del estado (Fig.4.17) de los dispositivos, cada uno de los archivos corresponde a cada uno de los doce meses que conforman un año. El número de filas de cada uno de los archivos es el resultante de multiplicar el número de días según el mes al que hace referencia por 24.

Hora	Calefactor	Aire	Ventilador	Secadora	Lavatrastes	Estufa	Microondas	Lavadora	Refrigerador	Foco	Dia
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1425	0	0	2861.7	10.5	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.5	1
3	0	0	0	0	919.729502	0	0	895.5	2861.7	0	1
4	0	0	0	0	0	0	1110.77303	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	1100.79191	895.5	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	946.995473	1425	1235.16612	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	1190.78	0	0	0	1016.58233	0	1174.82739	0	2861.7	10.5	1
11	1190.78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	1190.78	0	0	776.507067	848.508097	0	0	0	2861.7	10.5	1
13	929.430108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	0	0	32.2580485	0	851.483086	0	1135.5796	0	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16	0	0	0	0	0	0	0	895.5	0	0	1
17	0	310.783404	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18	0	0	0	0	886.148718	1425	1221.43619	0	0	0	1
19	935.518656	0	0	0	0	0	0	0	2861.7	10.5	1
20	0	0	0	882.945909	0	0	0	0	2861.7	10.5	1
21	0	0	6.61262844	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	0	0	895.5	2861.7	10.5	1
23	0	0	0	0	1066.19409	0	1239.59533	0	0	0	1
0	0	0	40.2855027	0	0	0	0	0	2861.7	10.5	2
1	0	0	0	0	0	1425	0	895.5	2861.7	0	2
2	0	0	0	0	0	1425	0	895.5	0	10.5	2

Fig. 4.17 Extracto del perfil del consumo (Lavadora mes septiembre)

Hora	Calefactor	Aire	Ventilador	Secadora	Lavatrastes	Estufa	Microondas	Lavadora	Refrigerador	Foco	Dia
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
3	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
19	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
20	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
21	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
23	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	2
1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	2
2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	2

Fig. 4.16 Extracto del perfil de estado (Lavadora mes septiembre)

4.3 Módulo de Predicción

Para cada uno de los archivos de estado y consumo generados para un mes se realizan 100 repeticiones del experimento (se generan 100 propuestas de consumo). Para hacer el análisis de los datos se concentran en un solo archivo al conjunto de todos los generados de todos los meses. Para estos datos se obtiene el promedio estadístico para cada uno de los dispositivos, la desviación estándar dispositivo-experimento, y obtiene el promedio de la desviación estándar por dispositivo. Los resultados del análisis se muestran en la *Tabla 4.2*, para los dispositivos lavadora, secadora, foco y estufa reporta promedios de consumo normales y la desviación estándar es de cero ya que los datos de consumo (mínimo, máximo y promedio) almacenados en el archivo que se usa por los procedimientos es el mismo.

Tabla 4.2 Resultados del análisis

Dispositivo	Promedio (kW/h)	Desviación Estándar
Aire Acondicionado	1496.341	9.0e-05
Calefactor	8.0800005	5.760072e-02
*Estufa	1425.0	0
*Foco	10.5	0
*Lavadora	895.5	0
Lava trastes	803.1705	2.25e-05
Microondas	1082.43	9e-11
Refrigerador	2861.7000000000003	4.54747350886461e-3
*Secadora	980.625	0
Ventilador	88.81999999999998	1.4210854715202004-14

La propuesta que se genera en este módulo se visualiza en la interfaz mediante la trasposición de las gráficas de consumo real y la del consumo que se propone (Fig. 4.18).



Fig. 4.18 Consumo real vs consumo propuesto

Capítulo 5 Conclusiones

Durante la investigación se identificó que los sistemas de análisis de gestión de la energía eléctrica o sistemas de demanda se desarrollan para distintos escenarios (casa, edificio, plazas comerciales y salones) y desde distintas líneas de investigación como son el desarrollo del sistema o el desarrollo de las arquitecturas hardware. Los objetivos de implementación se alinean al escenario, para el cual se identifican los factores que determinan como se da el consumo eléctrico. Los factores que se identifican en un escenario son los dispositivos que se encuentran en este, sus descriptores eléctricos, y la manera en la cual se usan los dispositivos por parte del usuario.

Un sistema de gestión de la energía, en la literatura, se desarrolla según la línea de investigación, con el objetivo de dar solución a la problemática del cómo ahorrar o hacer un mejor uso de la energía eléctrica desde la perspectiva y para beneficio del usuario. Por lo anterior, se encuentra que los sistemas se desarrollan desde distintas vertientes, una de ellas es el desarrollo de una arquitectura de sensores o, en caso de no contar con una, el diseño de una estrategia capaz de proveer los datos de los dispositivos (como es el uso de los simuladores) y la manera en la cual se procesan y muestran los datos (el diseño de una interfaz). Otra de las directrices de desarrollo de este tipo de sistemas se centran en el desarrollo de las aplicaciones que sirvan para proveer al usuario de la información necesaria para que este pueda observar la manera en la cual está llevando a cabo su consumo eléctrico y de que manera le está afectando económicamente, cuando el enfoque de desarrollo es en este sentido lo que se busca es la manera apropiada para presentar los datos al usuario y que impacten en el comportamiento de uso y consumo por parte del usuario sin poner mayor atención en la adquisición de los datos o en los procedimientos de procesamiento de los datos. En la literatura se identifica una tercera directriz de desarrollo de los sistemas de gestión de la energía eléctrica que es la que se enfoca en identificar las estrategias de análisis de los datos para optimizar los costos y consumos, esto lo hacen implementando funciones o procedimientos que hacen uso de la programación lineal, algoritmos genéticos, metaheurísticas o teoría de juegos.

Lo que se observa es que las directrices de desarrollo de los sistemas de gestión es que se enfocan en el desarrollo de algunos de los módulos identificados de un sistema de gestión de energía eléctrica. Por lo que, se identifica la ausencia de un esquema general de desarrollo de un sistema que proponga una metodología enunciando las partes que componen un sistema total y completo. A manera de conclusión general, se redacta una propuesta metodológica de un sistema de gestión de energía eléctrica se encuentra formada por tres módulos principales (sensores, capa física y de predicción) para obtener un sistema que considere la identificación de los dispositivos, la obtención de los parámetros que definen el consumo eléctrico, el perfil de comportamiento de uso de un usuario, la interacción del usuario con el sistema, y el método de procesamiento de los datos para la evaluación del consumo, y esto de acuerdo con el objetivo de implementación. Así, las conclusiones parciales a las que se ha llegado son:

- Las soluciones actuales en torno al desarrollo del software para un sistema de demanda eléctrica se centran en el procesamiento de datos, pero poco en la aplicación interactiva que pueda ser usada por cualquier usuario. Para el diseño de la aplicación se usan técnicas de

- análisis y diseño de experiencia de usuario para hacer que el usuario pueda contextualizar el escenario y recibir una retroalimentación sobre cómo se da el consumo en este.
- La identificación de los datos a considerar en un sistema de demanda se hace siguiendo el flujo de los datos desde que son adquiridos, tratados y usados en la propuesta de la regulación del consumo.
 - La simulación de los dispositivos a partir de su función de distribución de probabilidades y del uso de los datos de consumo reales permiten generar perfiles de comportamiento de uso y de consumo, los cuales son almacenados en vectores y en conjunto se crean bancos de datos de consumo y estado.
 - La función objetivo que se usa en la implementación de la metaheurística se obtiene a partir de la modelación matemática, tomando en cuenta la taxonomía del conjunto de dispositivos.
 - La formalización de la problemática mediante un modelo matemático explica la manera en la cual se da el consumo eléctrico y puede ser replicado en otros contextos, así como también lo es la metodología del análisis del consumo eléctrico pues permite definir una estrategia para la resolución de problemas con características similares.
 - Un sistema que realiza el manejo del consumo eléctrico está conformado por tres partes principales, el módulo de adquisición o generación de datos de consumo, la interfaz de interacción para la caracterización del escenario y que además provee al usuario de información gráfica sobre el consumo, y el módulo que analiza el consumo y hace la búsqueda de un consumo optimizado.
 - Los contextos de uso se caracterizan de acuerdo con los dispositivos de uso frecuente que se identifican en él y que se definen por el uso que se le da al contexto. Los contextos identificables son casa, oficina y salón de clases.
 - La taxonomía de los dispositivos eléctricos se determina por la manera en la cual operan y se clasifican en interrumpibles, no interrumpibles, flexibles y no flexibles. Los descriptores de manejo de los dispositivos son el tiempo promedio de uso, consumo promedio, consumos mínimo y máximo, si el dispositivo poder desconectado y su taxonomía.
 - La variable eléctrica se identifica a partir de la taxonomía, el tiempo de uso y su rango de consumo eléctrico.
 - Para plasmar el comportamiento humano en un sistema de análisis del consumo eléctrico se parte de la identificación de la taxonomía de los dispositivos que se identifican en el contexto de uso, así también se hace la identificación de los parámetros que dan forma a la variable eléctrica para hacer la modelación matemática en el proceso del consumo eléctrico. Y, haciendo uso de las funciones de distribución de probabilidades de uso de los dispositivos se hacen la simulación de perfiles de uso y consumo, los cuales en conjunto a la modelación reflejan el comportamiento de uso por parte de un usuario.
 - El algoritmo de optimización por cumulo de partículas al ser el algoritmo bioinspirado más analizado puede ser usado para la búsqueda del consumo óptimo, previa identificación de los parámetros que serán usados para la implementación.
 - La comunicación de los datos de consumo entre los módulos se da a partir del flujo de los datos, donde los datos de consumo obtenidos o generados (datos primarios) en el módulo

Conclusiones

de la capa de sensores son enviados al módulo de la capa física para ser agrupados y enviados al módulo de predicción, donde este módulo opera a través de la implementación de una técnica que implemente la función objetivo definida a partir del modelo matemático del consumo que generan los dispositivos según su taxonomía. Así, el módulo de predicción procesado los datos según el objetivo de implementación del sistema y cuyos resultados son enviados al módulo de la capa física para ser presentados al usuario concientizando a este sobre cómo está realizando su consumo eléctrico.

Como trabajo futuro se encuentran tres directrices, donde cada una de ellas se enfoca en el desarrollo de cada uno de los tres módulos que dan forma a la metodología de desarrollo de un sistema de gestión de la energía eléctrica; la primera de ellas se centra en el desarrollo de una arquitectura hardware que provea de una semántica, use sensores ubicuos escalables con un sistema de control distribuido.

La segunda línea de desarrollo se centra en el desarrollo de una aplicación multiusuario instalada en un servidor, con protocolos de seguridad y autenticación, que analice los datos en tiempo real y controle los dispositivos identificados en el contexto, que implementen técnicas de análisis de comportamiento del usuario que permitan la inclusión de los factores ambientales y uso del inmueble en un sistema de gestión del manejo de la energía eléctrica. Y, en la tercera directriz se encuentra la implementación de una metaheurística multiobjetivo para dar cumplimiento a más de un objetivo de implementación, capaz de prever el posible comportamiento en el consumo y uso de los dispositivos.

Glosario

En este apartado se presentan las definiciones de cada uno de los conceptos que se usan en esta tesis.

Casa inteligente (Smart Home) es un edificio residencial equipado con recursos que se coordinan mediante canales de comunicación para lograr objetivos comunes que benefician al usuario final (Pedrasa, Spooner, & MacGill, 2010).

Consumo de energía eléctrica es la cantidad de electricidad consumida por los equipos que se utilizan en una implementación (No, Kaur, & Cloud, 2017). El consumo de energía eléctrica tiene que ver con la cantidad de energía consumida por cada uno de los distintos servicios (luces, aire acondicionado, calefactores, seguridad, electrodomésticos y demás aparatos eléctricos) es posible identificar las principales fuentes de consumo eléctrico y determinar en orden de prioridad el comportamiento optimizado (Zanella, Bui, Castellani, Vangelista, & Zorzi, 2014). El consumo eléctrico se mide en watts y para efectos de análisis se mide en Kilowatts por hora (*KwH*).

Dispositivos flexibles (Flexible) son dispositivos de consumo eléctrico cuya función puede ser interrumpida para luego continuar en otro momento. Los dispositivos flexibles pueden ponerse en modo de espera ((Mohsin, Javaid, Madani, & Abbas, 2018), (Kakran & Chanana, 2018), (Javaid et al., 2017) y (Yao, Damiran, & Lim, 2017)).

Dispositivos No-Flexibles (Not Flexible) son dispositivos de consumo eléctrico que no pueden ser apagados pues es necesario que tengan un funcionamiento constante ((Mohsin et al., 2018) y (Kakran & Chanana, 2018)).

Dispositivos interrumpibles (Interruptible appliances) estos son dispositivos de consumo eléctrico que pueden ser usados en cualquier momento y el tiempo de uso varía de acuerdo a las necesidades del usuario ((Hao & Wang, 2017), (Mohsin et al., 2018), (Kakran & Chanana, 2018), (Javaid et al., 2017) y (Yao et al., 2017)).

Dispositivos no-interrumpibles (Uninterruptible appliance) estos son dispositivos eléctricos que paran su tiempo de operación una vez que han terminado la función asignada. El consumo eléctrico puede ser constante o variable ((Hao & Wang, 2017), (Mohsin et al., 2018), (Kakran & Chanana, 2018), (Javaid et al., 2017) y (Yao et al., 2017)).

Fuentes de energía eléctrica las fuentes generadoras de energía eléctrica son: solar, eólica, geotérmica y biomasa ((Zhou et al., 2016), (Alam, St-Hilaire, & Kunz, 2016) y (Lin & Tsai, 2015)).

Internet de las cosas (Internet of Things- IoT) trata acerca de la instalación de sensores, los cuales son conectados a internet a través de protocolos específicos de comunicación, generan un

intercambio de información con el fin de lograr un reconocimiento, ubicación, seguimiento, monitoreo y administración inteligente (Kim, Ramos, & Mohammed, 2017).

Metaheurística, término introducido por F. Glover y se puede definir como metodología de nivel superior que pueden ser usadas como estrategias de guía en el diseño de heurísticas para resolver problemas de optimización específicos. (Ghazali Talbi, *Metaheuristics: from design to implementation*. John Wiley & Sons. Canada).

Metodología, Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal. (*Real academia de la lengua española*)

Modelo matemático, representación abstracta de un objeto por medio de símbolos matemáticos y ecuaciones (en lugar de objetos físicos) para representar las relaciones en el sistema. A través de él se pueden realizar simulaciones numéricas, los cálculos indicados por las ecuaciones del modelo son realizados repetitivamente para representar la evolución en el tiempo del objeto modelado. (Forsythe, Malcom and Moler, *Computer methods for mathematical computations*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs)

Pico de voltaje (Peak to average ratio – PAR) es el máximo que se alcanza por encima de cero, genera transitorios en el voltaje.

Simulación numérica, proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso para conducir experimentos. Tiene por objetivo entender el comportamiento del sistema o evaluar estrategias con las cuales se puede operar el sistema. (*Shannon Robert*)

Simulador, imitación del proceso que se lleva a través del tiempo de un sistema físico diseñado por el humano. Parte del uso de datos reales para generar datos que son verdaderos; es decir, que en algún momento tuvieron una ocurrencia; lo cual permite obtener resultados reales de uso. (Robinson Stewart, *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. John Wiley & Sons, England)

Sistema de demanda, sistema que se usa en redes eléctricas inteligentes para mejorar la eficiencia del uso de la energía eléctrica. Este sistema sirve para definir precios, conservar la energía, reducir costos y optimizar la manera en la que se opera la red. Los sistemas de demanda tienen usos en residencia comercio e industrial. Los retos a los que se enfrentan sistemas residenciales son la complejidad de dispositivos y los patrones aleatorios de comportamiento.

Sistema de gestión de energía en el hogar, este sistema se encuentra conformado por un módulo monitor, una unidad de control lógica, un módulo de programación y un módulo de predicción. El objetivo de un sistema de gestión es el de encontrar una solución óptima bajo un conjunto de restricciones.

Conclusiones

Los *sensores* son dispositivos capaces de detectar magnitudes físicas, las cuales son llamadas variables de instrumentación. Las variables de instrumentación pueden ser transformadas en variables eléctricas análogas o binarias. Los sensores se encuentran en ambientes que se desean automatizar, pueden ser interconectados para realizar un monitoreo del ambiente y en funcionamiento generan una gran cantidad de datos que sirven para tomar decisiones de operación.

Técnica heurística, es un algoritmo que puede proveer una solución rápida y óptima, el cual es usado para resolver un problema que pertenece a un problema NP- completo (Huang, Tian, & Wang, 2015).

Una *solución óptima* es una solución factible que minimiza (o maximiza) una medida de desempeño, llamada también la función objetivo. El valor óptimo es el valor seleccionado, con respecto a algún criterio, de un conjunto de elementos disponibles.

Bibliografía

- Adika, C. O., & Wang, L. (2014a). Electrical Power and Energy Systems Smart charging and appliance scheduling approaches to demand side management. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER AND ENERGY SYSTEMS*, 57, 232–240. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.12.004>
- Adika, C. O., & Wang, L. (2014b). Energy Management, 5(2), 673–682.
- Alam, M. R., St-Hilaire, M., & Kunz, T. (2016). Computational Methods for Residential Energy Cost Optimization in Smart Grids: A Survey. *Acm Computing Surveys*, 49(1), 2. <https://doi.org/10.1145/2897165>
- Almusaylim, Z. A., & Zaman, N. (2018). A review on smart home present state and challenges : linked to context-awareness internet of things (IoT). *Wireless Networks*, 5. <https://doi.org/10.1007/s11276-018-1712-5>
- Azimi, I., Rahmani, A. M., Liljeberg, P., & Tenhunen, H. (2017). Internet of things for remote elderly monitoring: a study from user-centered perspective. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 8(2), 273–289. <https://doi.org/10.1007/s12652-016-0387-y>
- Barbato, A., Capone, A., Chen, L., Martignon, F., & Paris, S. (2013). A power scheduling game for reducing the peak demand of residential users. *2013 IEEE Online Conference on Green Communications, OnlineGreenComm 2013*, 137–142. <https://doi.org/10.1109/OnlineGreenCom.2013.6731042>
- Beaudin, M., & Zareipour, H. (2015). Home energy management systems: A review of modelling and complexity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 318–335. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.046>
- Behrens, D., Schoormann, T., Bräuer, S., & Knackstedt, R. (2018). Empowering the selection of demand response methods in smart homes : development of a decision support framework, 1–28.
- Benysek, G., Jarnut, M., Werminski, S., & Bojarski, J. (2016). Distributed active demand response system for peak power reduction through load shifting. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 64(4), 925–936. <https://doi.org/10.1515/bpasts-2016-0101>
- Buzzi, M., Leporini, B., & Meattini, C. (2019). Design Guidelines for Web Interfaces of Home Automation Systems Accessible via Screen Reader. *Web Engineering*, 18(4), 477–512. <https://doi.org/10.1515/9781400838578.1>
- Capasso, A., Lamedica, R., Prudenzi, A., & Grattieri, W. (1994). A bottom-up approach to residential load modeling. *IEEE Transactions on Power Systems*, 9(2), 957–964. <https://doi.org/10.1109/59.317650>
- Castro, M., Jara, A. J., & Skarmeta, A. F. G. (2013). Smart lighting solutions for smart cities. *Proceedings - 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, WAINA 2013*, 1374–1379. <https://doi.org/10.1109/WAINA.2013.254>

Referencias

- Chen, S., Liu, T., Gao, F., Ji, J., Xu, Z., Qian, B., ... Guan, X. (2017). Butler, Not Servant: A Human-Centric Smart Home Energy Management System. *IEEE Communications Magazine*, 55(2), 27–33. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600699CM>
- Clerc, M., & Kennedy, J. (2002). The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(1), 58–73. <https://doi.org/10.1109/4235.985692>
- Crowcroft, J. (2008). Bio-inspired computing and communication. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 5151 LNCS, 1–8. https://doi.org/10.1007/978-3-540-92191-2_1
- Emara, H. M., & Fattah, H. A. A. (2004). Continuous swarm optimization technique with stability analysis. *Proceedings of the American Control Conference*, 3(2), 2811–2817. <https://doi.org/10.1109/ACC.2004.182533>
- Esmaeili, B., Wu, H., Jain, S., Bozkurt, A., Brooks, D. H., Siddharth, N., ... van de Meent, J. W. (2018). Structured disentangled representations. *ArXiv*.
- Fabi, V., Andersen, R. V., Corgnati, S. P., & Olesen, B. W. (2013). A methodology for modelling energy-related human behaviour: Application to window opening behaviour in residential buildings. *Building Simulation*, 6(4), 415–427. <https://doi.org/10.1007/s12273-013-0119-6>
- Faruqui, A., Sergici, S., & Sharif, A. (2010). The impact of informational feedback on energy consumption-A survey of the experimental evidence. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.042>
- Fauvel, C., Claveau, F., Chevrel, P., & Fiani, P. (2018). A flexible design methodology to solve energy management problems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 97(November 2017), 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.11.005>
- Fernandez-Marquez, J. L., Di Marzo Serugendo, G., Montagna, S., Viroli, M., & Arcos, J. L. (2013). Description and composition of bio-inspired design patterns: A complete overview. *Natural Computing*, 12(1), 43–67. <https://doi.org/10.1007/s11047-012-9324-y>
- Figueiró, I. C., Abaide, A. R., Bernardon, D. P., & Neto, N. K. (2013). Smart grid and impact analysis of the application hourly rate for residential consumers using the Monte Carlo method. *International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, (May), 473–478. <https://doi.org/10.1109/PowerEng.2013.6635654>
- Gajowniczek, K., & Zabkowski, T. (2015). Data mining techniques for detecting household characteristics based on smart meter data. *Energies*, 8(7), 7407–7427. <https://doi.org/10.3390/en8077407>
- González-Calleros, J. M., Guerrero-García, J., Vanderdonckt, J., & Muñoz-Arteaga, J. (2009). Towards canonical task types for user interface design. *2009 Latin American Web Congress - Joint LA-WEB/CLIHIC Conference*, 63–70. <https://doi.org/10.1109/LA-WEB.2009.33>
- Green, D. C. (2014). *Home Energy Information: Measuring and Managing Energy Consumption in Residential Buildings*. Springer.

Referencias

- Han, D.-M., & Lim, J.-H. (2010). Smart home energy management system using IEEE 802.15.4 and ZigBee. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), 1403–1410. <https://doi.org/10.1109/TCE.2010.5606276>
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data Mining: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-19721-5>
- Hao, Y., & Wang, W. (2017). Optimal Home Energy Management With PV System in Time of use Tariff Environment. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, (51641702), 2693–2697.
- Hong Tianzhen, D'Oca Simona, Turner William J.N., T.-L. S. C. (2015). An ontology to represent energy-related occupant behaviour in buildings. Part I: Introduction to the DNAs framework. *Building and Environment*, 764–777.
- Hsu, Y.-L., Chou, P.-H., Chang, H.-C., Lin, S.-L., Yang, S.-C., Su, H.-Y., ... Kuo, Y.-C. (2017). Design and Implementation of a Smart Home System Using Multisensor Data Fusion Technology. *Sensors*, 17(7), 1631. <https://doi.org/10.3390/s17071631>
- Huang, Y., Tian, H., & Wang, L. (2015). Demand response for home energy management system. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 73, 448–455. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.05.032>
- Jahn, M., Jentsch, M., Prause, C. R., Pramudianto, F., Al-Akkad, A., & Reiners, R. (2010). The energy aware smart home. *2010 5th International Conference on Future Information Technology (FutureTech)*, IEEE., 1–8. <https://doi.org/10.1109/FUTURETECH.2010.5482712>
- Jargstorf, J., Vanthournout, K., De Rybel, T., & Van Hertem, D. (2012). Effect of Demand Response on transformer lifetime expectation. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe*, (1), 1–8. <https://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2012.6465805>
- Javaid, N., Hussain, S., Ullah, I., Noor, M., Abdul, W., Almogren, A., & Alamri, A. (2017). Demand Side Management in Nearly Zero Energy Buildings Using Heuristic Optimizations. *Energies*, 10(8), 1131. <https://doi.org/10.3390/en10081131>
- Javaid, N., Naseem, M., Rasheed, M. B., Mahmood, D., Khan, S. A., Alrajeh, N., & Iqbal, Z. (2017). A new heuristically optimized Home Energy Management controller for smart grid. *Sustainable Cities and Society*, 34(July), 211–227. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.06.009>
- Jiang, M., Luo, Y. P., & Yang, S. Y. (2007). Stochastic convergence analysis and parameter selection of the standard particle swarm optimization algorithm. *Information Processing Letters*, 102(1), 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.ipl.2006.10.005>
- Kakran, S., & Chanana, S. (2018). Energy Scheduling of Smart Appliances at Home under the Effect of Dynamic Pricing Schemes and Small Renewable Energy Source. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 1–12. <https://doi.org/10.1515/ijeeps-2017-0187>
- Kakran, Sandeep, & Chanana, S. (2018). Energy Scheduling of Smart Appliances at Home under the Effect of Dynamic Pricing Schemes and Small Renewable Energy Source. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 1–12. <https://doi.org/10.1515/ijeeps-2017-0187>

Referencias

- Karimi, Khaoula; Krit, S. (2018). A comparative study of the implementations design for smart homes/ smart phones systems. *International Journal of Engineering, Science and Mathematics*, 7(3).
- Katyara, S., Shah, M. A., Chowdhary, B. S., Akhtar, F., & Lashari, G. A. (2018). Monitoring , Control and Energy Management of Smart Grid System via WSN Technology Through SCADA. *Wireless Personal Communications*. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5738-x>
- Kavousian, A., Rajagopal, R., & Fischer, M. (2015). Ranking appliance energy efficiency in households: Utilizing smart meter data and energy efficiency frontiers to estimate and identify the determinants of appliance energy efficiency in residential buildings. *Energy and Buildings*, 99, 220–230. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.052>
- Kazmi, S., Javaid, N., Mughal, M. J., Akbar, M., Ahmed, S. H., & Alrajeh, N. (2017). Towards optimization of metaheuristic algorithms for IoT enabled smart homes targeting balanced demand and supply of energy. *IEEE Access*, 7(c), 24267–24281. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2763624>
- Kim, D. H., & Shin, S. (2006). Self-organization of decentralized swarm agents based on modified particle swarm algorithm. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, 46(2), 129–149. <https://doi.org/10.1007/s10846-006-9047-3>
- Kim, T. hoon, Ramos, C., & Mohammed, S. (2017). Smart City and IoT. *Future Generation Computer Systems*, 76(July 2014), 159–162. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.03.034>
- Kwan, J., Gangat, Y., Payet, D., & Courdier, R. (2016). An Agentified Use of the Internet of Things. *2016 IEEE International Conference on Internet of Things (IThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, 311–316. <https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCom-SmartData.2016.76>
- Li, S., Xu, L. Da, & Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243–259. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>
- Lian, Z., & Zhu, F. (2008). The Analysis of Particle Swarm Optimization Algorithm ' s, (2005), 623–626.
- Lin, Y., & Tsai, M. (2015). An Advanced Home Energy Management System Facilitated by Nonintrusive Load Monitoring With Automated Multiobjective Power Scheduling. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(4), 1839–1851.
- Liu, S. (2017). Class-constrained Transfer LDA for Cross-view Action Recognition in Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(1), 1–1. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2707518>
- Lopez Research. (2013). An Introduction to the Internet of Things (IoT). *Lopez Research Llc, Part 1. of(November)*, 1–6.
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). Internet of Things (IoT): A Literature

Referencias

- Review. *Journal of Computer and Communications*, 03(05), 164–173. <https://doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>
- Matei, O., Anton, C., Scholze, S., & Cenedese, C. (2017). Multi-layered data mining architecture in the context of Internet of Things. *Proceedings - 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2017*, 1193–1198. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2017.8104943>
- Mocanu, D. C., Mocanu, E., Nguyen, P. H., Gibescu, M., & Liotta, A. (2017). Big IoT data mining for real-time energy disaggregation in buildings. *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2016 - Conference Proceedings*, 3765–3769. <https://doi.org/10.1109/SMC.2016.7844820>
- Mohsin, S. M., Javaid, N., Madani, S. A., & Abbas, S. K. (2018). Appliance Scheduling in Smart Homes with Harmony Search Algorithm for different Operation Time Intervals Appliance Scheduling in Smart Homes with Harmony Search Algorithm for different Operation Time Intervals, *1*(February).
- Monacchi, A., & Zhevzyk, S. (2016). HEMS : a home energy market simulator. *Computer Science - Research and Development*, 111–118. <https://doi.org/10.1007/s00450-014-0291-7>
- Mshali, H., Lemlouma, T., Moloney, M., & Magoni, D. (2018). A survey on health monitoring systems for health smart homes. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 66, 26–56. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2018.02.002>
- Muratori, M., Roberts, M. C., Sioshansi, R., Marano, V., & Rizzoni, G. (2013). A highly resolved modeling technique to simulate residential power demand. *Applied Energy*, 107, 465–473. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.057>
- Nadeem, Z., Javaid, N., Malik, A. W., & Iqbal, S. (2018). Scheduling appliances with GA, TLBO, FA, OSR and their hybrids using chance constrained optimization for smart homes. *Energies*, 11(4), 1–30. <https://doi.org/10.3390/en11040888>
- Naz, M., Id, Z. I., & Javaid, N. (2018). Efficient Power Scheduling in Smart Homes Using Hybrid Grey Wolf Differential Evolution Optimization Technique with Real Time and Critical Peak Pricing Schemes. *Energies*, 11(384), 1–25. <https://doi.org/10.3390/en11020384>
- Negnevitsky, M., & Wong, K. (2015). Demand response visualization tool for electric power systems. *Visualization in Engineering*, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40327-015-0019-1>
- Nguyen, T. A., & Aiello, M. (2013). Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and Buildings*, 56, 244–257. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.005>
- Ni, Z., & Paudyal, P. (2017). A Computational Intelligence Approach for Residential Home Energy Management Considering Reward Incentives.
- Ortiz-velázquez, J. A., Bueno, G., & Arana-Coronado, J. J. (2017). Análisis de la demanda residencial de electricidad en el Estado de México Analysis of the residential electricity demand in the State of Mexico. *Economía, Sociedad y Territorio*, 17(53), 199–223.

Referencias

- Parsa, A. (2017). Implementation of Smart Optimal and Automatic Control of Electrical Home Appliances (IoT).
- Pedrasa, M. A. A., Spooner, T. D., & MacGill, I. F. (2010). Coordinated scheduling of residential distributed energy resources to optimize smart home energy services. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1(2), 134–143. <https://doi.org/10.1109/TSG.2010.2053053>
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., & Georgakopoulos, D. (2014). Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(1), 414–454. <https://doi.org/10.1109/SURV.2013.042313.00197>
- R, S., & R, S. K. (2017). Data Mining with Big Data. *2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*, 246–250. <https://doi.org/10.1109/ISCO.2017.7855990>
- Rahim, S., Javaid, N., Ahmad, A., Khan, S. A., Khan, Z. A., Alrajeh, N., & Qasim, U. (2016). Exploiting heuristic algorithms to efficiently utilize energy management controllers with renewable energy sources. *Energy and Buildings*, 129, 452–470. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.008>
- Ramírez-Mendiola, J. L., Grünewald, P., & Eyre, N. (2017). The diversity of residential electricity demand – A comparative analysis of metered and simulated data. *Energy and Buildings*, 151, 121–131. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.006>
- Rasheed, M., Javaid, N., Awais, M., Khan, Z., Qasim, U., Alrajeh, N., ... Javaid, Q. (2016). Real Time Information Based Energy Management Using Customer Preferences and Dynamic Pricing in Smart Homes. *Energies*, 9(7), 542. <https://doi.org/10.3390/en9070542>
- Samadi, A., Saidi, H., Latify, M. A., & Mahdavi, M. (2020). Home energy management system based on task classification and the resident's requirements. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 118(October 2018), 105815. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105815>
- Scheinholtz, L., Holden, K., & Kalish, C. (2012). *International Series on Consumer Science. Consumer knowledge and financial decisions: Lifespan perspectives.*
- Selvarajah, K., Kadiramanathan, V., & Fleming, P. J. (2006). Stability analysis for the stochastic best particle dynamics of a continuous-time Particle Swarm Optimizer. *Proceedings of AISB'06: Adaptation in Artificial and Biological Systems*, 2(3), 202–209.
- Shan, S., Yoon, S. W., Khasawneh, M. T., & Gandhi, T. (2011). A decision support system for estimating short-term hospital inpatient demands. *8th International Conference on Service Systems and Service Management - Proceedings of ICSSSM'11*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2011.5959514>
- Silva, B., Khan, M., & Han, K. (2018). Load Balancing Integrated Least Slack Time-Based Appliance Scheduling for Smart Home Energy Management. *Sensors*, 18(3), 685. <https://doi.org/10.3390/s18030685>
- Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Load balancing integrated least slack time-based appliance scheduling for smart home energy management. *Sensors (Switzerland)*, 18(3).

Referencias

- <https://doi.org/10.3390/s18030685>
- Song, I., & Cho, S. (2013). Expert Systems with Applications Bayesian and behavior networks for context-adaptive user interface in a ubiquitous home environment, *40*, 1827–1838.
- Stragier, J., Hauttekeete, L., De Marez, L., Derboven, J., & Laporte, L. (2012). Household energy use and creating awareness: Opportunities for ICT. *Proceedings - 3rd International Conference on Emerging Intelligent Data and Web Technologies, EIDWT 2012*, 276–280. <https://doi.org/10.1109/EIDWT.2012.35>
- Sun, X. (2017). An Optimized Scheduling Strategy for Smart Home Users under the Limitation of Daily Electric Charge. *IEEE*.
- Trelea, I. C. (2003). The particle swarm optimization algorithm: Convergence analysis and parameter selection. *Information Processing Letters*, *85*(6), 317–325. [https://doi.org/10.1016/S0020-0190\(02\)00447-7](https://doi.org/10.1016/S0020-0190(02)00447-7)
- Tso, G. K. F., & Yau, K. K. W. (2007). Predicting electricity energy consumption : A comparison of regression analysis , decision tree and neural networks, *32*, 1761–1768. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.11.010>
- Tushar, W., Yuen, C., Mohsenian-Rad, H., Saha, T., Poor, H. V., & Wood, K. L. (2018). Transforming Energy Networks via Peer to Peer Energy Trading: Potential of Game Theoretic Approaches.
- Van Den Bergh, F., & Engelbrecht, A. P. (2006). A study of particle swarm optimization particle trajectories. *Information Sciences*, *176*(8), 937–971. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2005.02.003>
- Vatavu, R. D., & Vanderdonckt, J. (2020). Design Space and Users' Preferences for Smartglasses Graphical Menus: A Vignette Study. *ACM International Conference Proceeding Series*, (February 2021), 1–12. <https://doi.org/10.1145/3428361.3428467>
- Vukasovic, M. (2017). Modeling optimal deployment of smart home devices and battery system using MILP.
- Want, R., Schilit, B. N., & Jenson, S. (2015). Enabling the internet of things. *Computer*, *48*(1), 28–35. <https://doi.org/10.1109/MC.2015.12>
- Whitmore, A., Agarwal, A., & Da Xu, L. (2015). The Internet of Things—A survey of topics and trends. *Information Systems Frontiers*, *17*(2), 261–274. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9489-2>
- William, J. N., Buttitta, G., Neu, O., Turner, W., & Finn, D. (2017). Modelling Household Occupancy Profiles using Data Mining Clustering Techniques on Time Use Data.
- Wu, X., Zhu, X., Wu, G. Q., & Ding, W. (2014). Data mining with big data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, *26*(1), 97–107. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2013.109>
- Yan D., O'Brien W., Hong T., Feng X., Gunay H., Tahmasebi F., M. A. (2015). Occupant behaviour modeling for building performance simulation: Current state and future challenges. *Energy and Buildings*, *107*, 264–278.

Referencias

- Yao, L., Damiran, Z., & Lim, W. H. (2017). Energy Management Optimization Scheme for Smart Home Considering Different Types of Appliances.
- Yao, L., Shen, J. Y., & Lim, W. H. (2017). Real-Time Energy Management Optimization for Smart Household. *Proceedings - 2016 IEEE International Conference on Internet of Things; IEEE Green Computing and Communications; IEEE Cyber, Physical, and Social Computing; IEEE Smart Data, IThings-GreenCom-CPSCoM-Smart Data 2016*, 20–26. <https://doi.org/10.1109/iThings-GreenCom-CPSCoM-SmartData.2016.31>
- Yu, Z., Li, J., Li, H. Q., Han, J., & Zhang, G. Q. (2015). A novel methodology for identifying associations and correlations between household appliance behaviour in residential buildings, 78, 591–596. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.024>
- Zeng, W. F., Zhang, Y. J., & Yan, L. (2010). Mechanism of particle swarm optimization and analysis on its convergence. *Proceedings - 3rd International Symposium on Information Processing, ISIP 2010*, 63–66. <https://doi.org/10.1109/ISIP.2010.46>
- Zhou, A., Qu, B., Li, H., Zhao, S., & Nagaratnam, P. (2011). Multiobjective evolutionary algorithms : A survey of the state of the art. *Swarm and Evolutionary Computation*, 1(1), 32–49. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2011.03.001>
- Zhou, B., Li, W., Chan, K. W., Cao, Y., Kuang, Y., Liu, X., & Wang, X. (2016). Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.047>
- Zhu, H., Gao, Y., Hou, Y., & Tao, L. (2018). Multi-time slots real-time pricing strategy with power fluctuation caused by operating continuity of smart home appliances. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 71(February), 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.02.010>

Apéndice A Tablas de dispositivos de uso doméstico, escolar y oficina

La elaboración de la tabla de dispositivos que hacen un consumo de energía eléctrica se realizó siguiendo cinco pasos.

Primero, se identifican los escenarios que se desean caracterizar (casa, departamento, oficina, y salón), para lo cual es necesario identificar los dispositivos que con mayor frecuencia se encuentran en dicho escenario.

Segundo, se realiza una búsqueda de dispositivos de uso frecuente en el escenario que se desea caracteriza. La búsqueda se llevó a cabo mediante una búsqueda en internet en las páginas de la Profeco de México.

Tercero, se saca el listado de los dispositivos y características de los dispositivos de uso frecuente en los escenarios seleccionados.

Cuarto, para cada uno de los dispositivos se identifican los datos (más comunes) de potencia mínima, máxima y en espera, y el tiempo de uso frecuente diario. Al crear la lista el diseñador es quién identifica si el dispositivo puede ser desconectado o no, y el tipo de dispositivo al cual pertenece dada la forma en la cual este funciona.

Quinto, se crean categorizan los dispositivos con respecto al grupo al cual pertenecen (oficina y salón, video juegos, línea blanca, electrónica, seguridad, iluminación, y ventilación y calefacción).

Tabla A-4.3 Dispositivo de uso frecuente en oficina y salón

Dispositivo	Potencia mínima (Watts)	Potencia máxima (Watts)	Potencia en espera (W)	Tiempo uso (periodos típicos en horas)	Puede ser Desconectado	Tipo de dispositivo
OF1	Cañon (tres focos)	6.4	400	1.5	Si	I
OF2	Cañon (tres focos)	6.4	1000	1.5	Si	I
OF3	Cañon (un foco)	6.4	220	1.5	Si	I
OF4	Cañon (un foco)	6.4	236	1.5	Si	I
OF5	CPU	14.1	250	4	Si	I
OF6	CPU	14.1	300	4	Si	I
OF7	CPU	14.1	220	4	Si	I
OF8	CPU	10	10	4	Si	I

Capítulo 4. Resultados

Dispositivo	Potencia mínima (Watts)	Potencia máxima (Watts)	Potencia en espera (W)	Tiempo uso (periodos típicos en horas)	Puede ser Desconectado	Tipo de dispositivo
OF9	CPU	1.4	51	4	Si	I
OF10	CPU iMac 3.06GHz	129.6	365	4	Si	I
OF11	CPU iMac 3.2GHz	129.6	241	4	Si	I
OF12	CPU iMac 27'	3	70	4	Si	I
OF13	Decodificador Digital Dish	55	55	24	Si	I
OF14	Decodificador Digital SKY	55	55	24	Si	I
OF15	Escanner	65	275	1	Si	I
OF16	Escanner	65	150	1	Si	I
OF17	Fax	65	150	1	Si	I
OF18	Fotocopiadora	900	900	1	Si	I
OF19	Fotocopiadora	1100	1100	1	Si	I
OF20	Impresora	65	100	1	Si	I
OF21	Impresora	65	495	1	Si	I
OF22	Impresora	2.7	370	1	Si	I
OF23	Impresora	8	570	1	Si	I
OF24	Impresora	6	27	1	Si	I
OF25	Impresora	0.7	11	1	Si	I
OF26	Impresora	1.1	17	1	Si	I
OF27	Impresora	1.2	10	1	Si	I
OF28	Impresora	1.1	10	1	Si	I
OF29	Impresora	3.1	32	1	Si	I
OF30	Impresora	3.5	25.2	1	Si	I
OF31	Laptop	0.6	65	4	Si	F
OF32	Laptop	0.6	90	4	Si	F
OF33	Laptop	0.6	63.5	4	Si	F
OF34	Laptop	3	35	4	Si	F
OF35	Laptop	3.45	33.35	4	Si	F
OF36	Laptop	4.6	18.4	4	Si	F
OF37	Laptop	4.6	22.1	4	Si	F
OF38	Modem inalámbrico	6	6	24	No	NF
OF39	Monitor CRT 14"	5.79	60	4	Si	I
OF40	Monitor CRT 19"	5.79	90	4	Si	I
OF41	Monitor LCD 19"	3	100	4	Si	I
OF42	Monitor LCD 19"	3	40	4	Si	I
OF43	PC Netbook	40	40	4	Si	F
OF44	PC Netbook	48	48	4	Si	F
OF45	Pizarrón digital	1	1	8	Si	I
OF46	Router	10.12	30	24	No	NF
OF47	Router Wi-Fi	10.12	10.12	24	No	NF

Capítulo 4. Resultados

Dispositivo	Potencia mínima (Watts)	Potencia máxima (Watts)	Potencia en espera (W)	Tiempo uso (periodos típicos en horas)	Puede ser Desconectado	Tipo de dispositivo
OF48	Switch/HUB	8	8	24	No	NF
OF49	Tablet	40	40	4	Si	F
OF50	Pantalla LED 32"	3	75	4	Si	I
OF51	Televisión análoga de 21 pulgadas	3.8	85	5	Si	I

Tabla A-4.4 Dispositivos que se usan para videojuegos

Dispositivo	Potencia mínima (Watts)	Potencia máxima (Watts)	Potencia en espera (W)	Tiempo uso (periodos típicos en horas)	Puede ser Desconectado	Tipo de dispositivo
JU1	Consola	1.9	250	4	Si	I
JU2	Consola Cable xbox(disco duro externo)	45	45	4	Si	I
JU3	Consola Nintendo Wii	1.8	18	4	Si	I
JU4	Consola Playstation	23	23	4	Si	I
JU5	Consola PS2	30	30	4	Si	I
JU6	Consola PS3	194	194	4	Si	I
JU7	Consola Xbox	70	70	4	Si	I
JU8	Consola Xbox 360	185	185	4	Si	I

Tabla A-4.5 Dispositivos de línea blanca

Dispositivo	Potencia mínima (Watts)	Potencia máxima (Watts)	Potencia en espera (W)	Tiempo uso (periodos típicos en horas)	Puede ser Desconectado	Tipo de dispositivo
LB1	Abrelatas	60	60	0.04	Si	U
LB2	Afeitadora	15	15	0.02	Si	U
LB3	Afeitadora	0.7	0.7	0.02	Si	U
LB4	Aspiradora	750	675	0.3	Si	U
LB5	Aspiradora	700	700	0.3	Si	U
LB6	Aspiradora	1000	1000	0.3	Si	U
LB7	Aspiradora	1200	1200	0.3	Si	U
LB8	Aspiradora	1300	1300	0.3	Si	U
LB9	Aspiradora	1400	1400	0.3	Si	U
LB10	Batidora	140	140	0.28	Si	U

Capítulo 4. Resultados

LB11	Batidora	200	200	0.28	Si	U
LB12	Batidora	250	250	0.28	Si	U
LB13	Bomba de agua 1/2 hp	368	368	0.33	No	U
LB14	Bomba de agua 1/2 hp	400	400	0.33	No	U
LB15	Bomba de agua 1/2 hp	440	440	0.33	No	U
LB16	Bomba de agua 3/4 hp	552	552	0.33	No	U
LB17	Bomba de agua 1 hp	746	746	0.33	No	U
LB18	Bomba de piscina	800	800	0.33	No	U
LB19	Cafetera	900	900	0.25	Si	U
LB20	Cafetera	720	720	0.25	Si	U
LB21	Cafetera	750	750	0.25	Si	U
LB22	Cafetera	600	600	0.25	Si	U
LB23	Cafetera	700	700	0.25	Si	U
LB24	Cafetera	725.6	725.6	0.25	Si	U
LB25	Calefactor de agua / terma eléctrica	1500	1500	0.43	No	U
LB26	Calefactor de agua / terma eléctrica	8	20	0.43	No	U
LB27	Calienta biberones y comida	330	330	2	Si	U
LB28	Congelador	400	400	8	No	NF
LB29	Cortacorrientes	3	3	24	No	I
LB30	Cuchillo eléctrico	95	95	0.04	Si	U
LB31	Ducha eléctrica	3500	3500	0.43	No	U
LB32	DVD	6.9	25.3	4	Si	I
LB33	DVD	1	12.2	4	Si	I
LB34	DVD	0.9	8.7	4	Si	I
LB35	DVD	200	200	4	Si	I
LB36	Enceradora	500	500		Si	U
LB37	Esterilizadora	1000	1000	2	Si	U
LB38	Estufa	1000	1000	6	Si	I
LB39	Estufa	1200	1200	6	Si	I
LB40	Estufa	1500	1500	6	Si	I
LB41	Estufa eléctrica	2000	2000	6	Si	I
LB42	Exprimidores de cítricos	30	30	0.16	Si	U
LB43	Exprimidores de cítricos	250	250	0.16	Si	U
LB44	Exprimidores de cítricos	35	35	0.16	Si	U
LB45	Exprimidores de cítricos	450	450	0.16	Si	U
LB46	Extractor de aire	25	25	3	Si	I
LB47	Extractor de aire	500	500	3	Si	I
LB48	Extractor de aire	120	120	3	Si	I
LB49	Extractores de frutas y legumbres	300	300	0.16	Si	I
LB50	Freidora	1000	1000	0.29	Si	I

Capítulo 4. Resultados

LB51	Freidora	1100	1100	0.29	Si	I
LB52	Horno	0	0	0.25	Si	U
LB53	Horno de Microondas	6.2	1300	0.25	Si	U
LB54	Horno de Microondas	800	640	0.25	Si	U
LB55	Horno de Microondas	4	1200	0.25	Si	U
LB56	Horno de Microondas 1.2 ft3	4	1520	0.25	Si	U
LB57	Horno de Microondas	4	1000	0.25	Si	U
LB58	Horno de Microondas	4	2000	0.25	Si	U
LB59	Horno eléctrico	790	790	0.25	Si	U
LB60	Horno eléctrico	950	950	0.25	Si	U
LB61	Horno eléctrico	1300	1040	0.25	Si	U
LB62	Horno eléctrico	1200	1200	0.25	Si	U
LB63	Horno eléctrico	2200	2200	0.25	Si	U
LB64	Horno eléctrico	1000	1000	0.25	Si	U
LB65	Humidificador	36	36	3	Si	I
LB66	Humidificador	26	26	3	Si	I
LB67	Jacuzzi	550	550	0.43	Si	I
LB68	Lavadora	550	550	1.14	Si	F
LB69	Lavadora	400	400	1.14	Si	F
LB70	Lavadora	330	330	1.14	Si	F
LB71	Lavadora	2850	2850	1.14	Si	F
LB72	Lavadora	350	350	1.14	Si	F
LB73	Lavadora	950	950	1.14	Si	F
LB74	Lavadora	1050	1050	1.14	Si	F
LB75	Lavadora	1020	1020	1.14	Si	F
LB76	Lavadora	550	550	1.14	Si	F
LB77	Lavavajillas	1.1	797	1	Si	U
LB78	Lavavajillas	1.1	1148	1	Si	U
LB79	Lavavajillas	1740	1740	1	Si	U
LB80	Lavavajillas	980	980	1	Si	U
LB81	Lavavajillas	1050	1050	1	Si	U
LB82	Lavavajillas	800	800	1	Si	U
LB83	Lavavajillas	1050	1050	1	Si	U
LB84	Licuadora	350	350	0.25	Si	I
LB85	Licuadora	400	400	0.16	Si	I
LB86	Licuadora	350	350	0.16	Si	I
LB87	Manta eléctrica	100	100	6	Si	I
LB88	Manta eléctrica	180	180	6	Si	I
LB89	Máquina de coser	125	125	0.57	Si	I
LB90	Máquina de coser	100	100	0.57	Si	I
LB91	Nevera	400	400	24	No	NF
LB92	Nevera	575	575	24	No	NF
LB93	Parrilla eléctrica	850	850	0.25	Si	I

Capítulo 4. Resultados

LB94	Plancha	1000	1000	0.43	Si	I
LB95	Plancha	1150	1150	0.43	Si	I
LB96	Plancha	1200	1200	0.43	Si	I
LB97	Plancha de vapor	1070	1070	0.43	Si	I
LB98	Refrigerador	575	575	24	No	NF
LB99	Refrigerador (11-12 pies cúbicos)	250	250	24	No	NF
LB100	Refrigerador (14-16 pies cúbicos)	290	290	24	No	NF
LB101	Refrigerador (18-22 pies cúbicos)	375	375	24	No	NF
LB102	Refrigeración central 5 ton. Antigo	7900	7900	24	No	NF
LB103	Refrigeración central 5 ton. Nuevo	5250	5250	24	No	NF
LB104	Refrigeración central 3 ton. Antigo	4450	4450	24	No	NF
LB105	Refrigeración central 3 ton. Nuevo	3350	3350	24	No	NF
LB106	Refrigeración central 4 ton. Antigo	6500	6500	24	No	NF
LB107	Refrigeración central 4 ton. Nuevo	4250	4250	24	No	NF
LB108	Refrigeración antiguo(más de 10 años)	500	500	24	No	NF
LB109	Refrigerador(25-27 pies cúbicos)	650	650	24	No	NF
LB110	Rizador/alisador pelo	800	800	0.29	Si	F
LB111	Rizador/alisador pelo	400	400	0.29	Si	F
LB112	Rizador/alisador pelo	45	45	0.29	Si	F
LB113	Sandwichera	800	800	0.1	Si	I
LB114	Sandwichera/waflera	650	650	0.1	Si	I
LB115	Secadora de cabello	522.5	522.5	0.1	Si	F
LB116	Secadora de cabello	700	700	0.1	Si	F
LB117	Secadora de cabello	1875	1875	0.1	Si	F
LB118	Secadora de cabello	825	825	0.1	Si	F
LB119	Secadora de ropa	270	270	0.57	Si	F
LB120	Secadora de ropa	2000	2000	0.57	Si	F
LB121	Secadora de ropa	5600	5600	0.57	Si	F
LB122	Taladro	600	600	0.06	Si	I
LB123	Taladro	750	750	0.06	Si	I
LB124	Teléfono inalámbrico	25	25	24	No	NF
LB125	Timbre de pared	10	10	24	No	NF
LB126	Tostador	24	24	0.25	Si	U
LB127	Tostador	500	500	0.25	Si	U

Capítulo 4. Resultados

LB128	Tostador	850	850	0.25	Si	U
LB129	Tostador	1051	1051	0.25	Si	U
LB130	Tostador	900	900	0.25	Si	U
LB131	T.V. color (13-17 pulg)	50	50	5	Si	I
LB132	T.V. color (19-21 pulg)	1	70	6	Si	I
LB133	T.V. color(24-29 pulg)	0.74	120	6	Si	I
LB134	T.V. color(32-43pulg)	3	250	6	Si	I
LB135	T.V.color(43-50pulg plasma)	360	360	6	Si	I
LB136	T.V. color (50-56 pulg)	474	474	6	Si	I

Tabla A-4.6 Dispositivos de electrónica

Dispositivo	Potencia mínima (Watts)	Potencia máxima (Watts)	Potencia en espera (W)	Tiempo uso (periodos típicos en horas)	Puede ser Desconectado	Tipo de dispositivo
EL1	Bocinas portátiles	0	4	4	Si	I
EL2	Bocinas portátiles	2.3	3.45	4	Si	I
EL3	Bocinas portátiles	0.023	23	4	Si	I
EL4	Cargador teléfono móvil	1.15	4.83	3	No	F
EL5	Cargador teléfono móvil	0	3.1	3	No	F
EL6	Componentes/ Estéreo	80	80	3	Si	I
EL7	Componentes/ Estéreo	2.7	75	4	Si	I
EL8	Componentes/ Estéreo	120	120	4	Si	I
EL9	Radio	15	15	4	Si	I
EL10	Radio	40	40	4	Si	I
EL11	Radio	1.4	1.4	4	Si	I
EL12	Radio	8.1	8.1	4	Si	I
EL13	Radio	15	15	4	Si	I
EL14	Radio	40	40	4	Si	I
EL15	Reloj digital	2	2	24	No	NF
EL16	Reloj digital	5	5	24	No	NF
EL17	Reproductores de MP3	35	35	4	Si	I

Capítulo 4. Resultados

Tabla A-4.7 Dispositivos de seguridad

Dispositivo	Potencia mínima (Watts)	Potencia máxima (Watts)	Potencia en espera (W)	Tiempo uso (periodos típicos en horas)	Puede ser Desconectado	Tipo de dispositivo
SE1	Alarmas Antirrobo	10	10	24	No	NF
SE2	Camaras	4	4	24	No	NF
SE3	Camaras WiFi	3	3	24	No	NF
SE4	Camaras WiFi	10	10	24	No	NF

Tabla A-4.8 Dispositivos de iluminación

Dispositivo	Potencia mínima (Watts)	Potencia máxima (Watts)	Potencia en espera (W)	Tiempo uso (periodos típicos en horas)	Puede ser Desconectado	Tipo de dispositivo
IL1	Foco 50w	50	50	2	Si	I
IL2	Foco 75w	75	75	5	Si	I
IL3	Foco 100w	100	100	5	Si	I
IL4	Foco incandescente 14.3 (lúmenes/watt)	60	60	2	Si	I
IL5	Foco halógeno 13.6 (lúmenes/watt)	42	42	2	Si	I
IL6	Foco LED genérico 100(lúmenes/watt)	9	9	5	Si	I
IL7	Foco LED 64(lúmenes/watt)	12.5	12.5	5	Si	I
IL8	Foco LED 94(lúmenes/watt)	10	10	5	Si	I
IL9	Lámpara	60	60	3	Si	I
IL10	Lámpara	32	32	3	Si	I
IL11	Lámpara	40	40	3	Si	I
IL12	Lámpara	23	23	3	Si	I
IL13	Lámpara	11	11	3	Si	I
IL14	Lámpara	15	15	3	Si	I
IL15	Lámpara	7	7	3	Si	I
IL16	Lámpara	41	41	3	Si	I
IL17	Lámpara	61	61	3	Si	I
IL18	Lámpara	101	101	3	Si	I
IL19	Lámpara pequeña niños	0.1	0.1	3	Si	I

Capítulo 4. Resultados

Tabla A-4.9 Dispositivos de ventilación y calefacción

Dispositivo	Potencia mínima (Watts)	Potencia máxima (Watts)	Potencia en espera (W)	Tiempo uso (periodos típicos en horas)	Puede ser Desconectado	Tipo de dispositivo
VC1	Aire acondicionado	1000	1000	4	Si	I
VC2	Aire acondicionado	2950	2950	4	Si	I
VC3	Aire acondicionado	1.6	558.6	4	Si	I
VC4	Aire acondicionado	27.6	690	4	Si	I
VC5	Aire acondicionado 2200 frigorías, 8800 BTU	1350	1350	4	Si	I
VC6	Aire acondicionado, 2500 frigorías, 10000 BTU	1800	1800	4	Si	I
VC7	Aire acondicionado, 3000 frigorías, 12000 BTU	935	935	4	Si	I
VC8	Aire lavado (cooler) grande	600	600	12	Si	I
VC9	Aire lavado (cooler) mediano	400	400	12	Si	I
VC10	Aire acondicionado de ventana 1 ton. Antiguo	1850	1850	10	Si	I
VC11	Aire acondicionado de ventana 1 ton. Nuevo	1200	1200	8	Si	I
VC12	Aire acondicionado de ventana 1.5 ton. Antiguo	2250	2250	10	Si	I
VC13	Aire acondicionado de ventana 1.5 ton. Nuevo	1800	1800	8	Si	I
VC14	Aire acondicionado de ventana 2 ton. Antiguo	3200	3200	10	Si	I
VC15	Aire acondicionado de ventana 2 ton. Nuevo	2450	2450	8	Si	I
VC16	Aire acondicionado dividido (minisplit) 1 ton.	1160	1160	8	Si	I
VC17	Aire acondicionado dividido (minisplit) 1.5 ton.	1680	1680	8	Si	I
VC18	Aire acondicionado dividido (minisplit) 2 ton.	2280	2280	8	Si	I
VC19	Calefactor	0	0	4	Si	I
VC20	Calefactor	1500	1500	4	Si	I
VC21	Calefactor	963.1	963.1	4	Si	I
VC22	Calefactor	1300	1300	4	Si	I
VC23	Calentador eléctrico	1000	1000	3	Si	F
VC24	Ventilador	100	100	3	Si	I
VC25	Ventilador	35.1	35.1	3	Si	I
VC26	Ventilador	0.1	36.4	3	Si	I
VC27	Ventilador de mesa	65	65	8	Si	I
VC28	Ventilador de pedestal	70	70	8	Si	I

Capítulo 4. Resultados

VC29	Ventilador de pedestal	288	288	8	Si	I
VC30	Ventilador de piso	125	125	8	Si	I
VC31	Ventilador de techo	75	75	8	Si	I
VC32	Ventilador de techo	70	70	8	Si	I
VC33	Ventilador de techo	60	60	8	Si	I
