

**DESPLIEGUE ÓPTIMO DE REDES
INALÁMBRICAS PARA LA
INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN
INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

DESPLIEGUE ÓPTIMO DE REDES INALÁMBRICAS PARA LA INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Santiago Xavier Quel Novillo
José Andrés Galiano Hernández
Egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica
Universidad Politécnica Salesiana

Dirigido por:
Esteban Mauricio Inga Ortega
Director de Carrera de Ingeniería Eléctrica
Universidad Politécnica Salesiana



Quito - Ecuador

Santiago Xavier Quel Novillo

José Andrés Galiano Hernández

DESPLIEGUE ÓPTIMO DE REDES INALÁMBRICAS PARA LA INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Universidad Politécnica Salesiana
Ingeniería Eléctrica

Breve reseña historia e información de contacto:



Santiago Xavier Quel Novillo (A'1990-M'01). Bachiller Técnico, Especialidad Electrónica del Instituto Tecnológico Superior Central Técnico de Quito. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Miembro Estudiantil del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes-GIREI. Su trabajo se basa en técnicas de modelización y simulación matemática de redes inalámbricas para infraestructuras de medición avanzada. Sus intereses de investigación incluyen Smart Grid, AMI y modelos de optimización matemática.

squeln@est.ups.edu.ec



José Andrés Galiano Hernández (A'1984-M'09). Bachiller en Ciencias, Especialidad Físico Matemático del Colegio Liceo Naval "Calm. Ramon Castro Jijon" de Esmeraldas. Tecnólogo en Electromecánica de la Escuela Politécnica Nacional. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Miembro Estudiantil del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes-GIREI. Su trabajo se basa en técnicas de modelización y simulación matemática de redes inalámbricas para infraestructuras de medición avanzada. Sus intereses de investigación incluyen Smart Grid, AMI y modelos de optimización matemática.

jgalianoh@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Esteban Inga (A'1976-M'08). Ingeniero Electrónico de la Universidad Politécnica Salesiana; recibió su grado de Master en Educación y Desarrollo Social en 2008 por la Universidad Tecnológica Equinoccial-Quito. En el presente trabaja para obtener su grado de PhD en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín-Colombia. Es coordinador del Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - GIREI. Sus trabajos de investigación están relacionados a la Infraestructura de Medición Avanzada, Redes Celulares, Smart Grid. Actualmente es Director de Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana - Sede Quito.

inga@ups.edu.ec

Dedicatoria

Santiago Xavier Quel Novillo

A mis padres Bayardo Quel y Fátima Novillo que gracias a sus enseñanzas, consejos y apoyo tanto moral como económico han hecho de mí una persona buena, responsable y centrada en sus objetivos, también agradecerles por la confianza, esfuerzo y el amor constante que he recibido durante toda mi vida y más ahora en mi formación profesional gracias a esto estoy a un paso más de poder ser tan grande como ellos.

A mis hermanas Michelle y Karol por compartir experiencias en familia y ser un apoyo moral e incondicional en todo momento. A toda mi familia en general, abuelitos, tíos, primos que me aconsejaron y me brindaron momentos inolvidables.

A mi novia Andrea Gómez por ser importante y especial en mi vida quien me ha acompañado durante toda la etapa de mi formación profesional brindándome momentos únicos, y que gracias a su amor, comprensión y paciencia me motivaron a seguir luchando por mis objetivos. Por eso y mucho más se ha ganado un lugar único en mi corazón.

Dedicatoria

José Andrés Galiano Hernández

A mi padre Gonzalo Galiano Pérez y mi madre Dionícia Hernández Batioja, los cuales siempre me apoyaron en esta vida universitaria enseñándome valores como el respeto, solidaridad, valentía, humildad, y responsabilidad los cuales me ayudaron para ser una excelente persona y un buen profesional.

Agradecimiento

Santiago Xavier Quel Novillo

José Andrés Galiano Hernández

Queremos agradecer a los ingenieros que mediante sus enseñanzas y experiencias supieron guiarnos en nuestra formación profesional de una manera clara y precisa. Al Ing. Esteban Inga Ortega M.Ed. por guiarnos durante la elaboración de este proyecto de titulación y también agradecer el empeño, tiempo y dedicación con el cual hemos contado siempre además de ser algo fundamental para el avance de nuestra formación académica.

A la Universidad Politécnica Salesiana por formarnos como buenas personas y profesionales responsables.

A nuestros compañeros y amigos que nos brindaron una amistad sincera y nos ayudaron en las etapas y momentos difíciles durante la carrera, sacándonos sonrisas y apoyándonos en todo momento teniendo en cuenta que las amistades es un factor importante en la formación de todo profesional.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Esteban Mauricio Inga Ortega declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Despliegue Óptimo de Redes Inalámbricas para la Infraestructura de Medición Inteligente de Energía Eléctrica* realizado por Santiago Javier Quel Novillo y José Andrés Galiano Hernández, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Noviembre 2015

Esteban Mauricio Inga Ortega

Cédula de identidad: 0102116043

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Santiago Xavier Quel Novillo, con documento de identificación N° 172352878-0, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “*Despliegue Óptimo de Redes Inalámbricas para la Infraestructura de Medición Inteligente de Energía Eléctrica*”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma

.....

Nombre: Santiago Xavier Quel Novillo

Cédula: 172352878-0

Fecha: Noviembre 2015

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, José Andrés Galiano Hernández, con documento de identificación N° 080194052-9, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “*Despliegue Óptimo de Redes Inalámbricas para la Infraestructura de Medición Inteligente de Energía Eléctrica*”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma

.....

Nombre: José Andrés Galiano Hernández

Cédula: 0801940529

Fecha: Noviembre 2015

GLOSARIO

A

ALGORITMO: Conjunto de operaciones matemáticas que siguen una secuencia de instrucciones para la resolución de un determinado problema

C

CAPACIDAD: Cantidad de datos o información que se pueden almacenar en un dispositivo, esta cantidad se mide en unidades de bytes.

CENTROIDE: Es un punto en un área o figura que indica la concentración de masa, también es denominado centro de masa y su ubicación depende de la distribución de la materia

CLUSTERIZACIÓN: Es la división de un número total de datos en grupos diferentes, estos grupos deben ser diferentes de los demás pero tener una similitud entre los miembros de del mismo grupo.

COBERTURA: Es el espacio geográfico en la que se dispone un servicio que brinda conectividad.

COORDENADA: Es el conjunto de valores que se usan para hacer referencia la posición de un punto en una superficie o espacio geométrico donde cada valor representa una línea denominadas latitud y longitud.

E

ENLACE: Es la conexión física entre dos o más lugares que sirve para la recepción y transmisión de datos, para que exista un enlace se necesita de un protocolo que cumpla con la función del envío y recepción de información.

ESTACIÓN BASE: Es una instalación fija de radio situada en una ubicación estratégica para la transmisión y recepción de información, está compuesta de una o más antenas y un conjunto de componentes electrónicos.

G

GEORREFERENCIA: Es la asignación de la ubicación geográfica de las coordenadas de un punto que permiten la ubicación sobre la tierra.

GIS: (Sistema de Información Geo referencial) es una herramienta computacional diseñada para para capturar, almacenar y manipular información geográficamente referenciada almacenada en una base de datos.

I

INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA (AMI): Un sistema de medición dedicado a la recolección de información sobre el uso de la energía por medio de medidores inteligentes, una de

las características principales de AMI es la comunicación bidireccional que puede realizar entre los dispositivos de medición inteligente y la empresa de control distribuidora.

L

LATITUD: Es la distancia angular que hay desde un punto de la superficie de la tierra hasta el paralelo del Ecuador,

LONGITUD: Expresa la distancia angular entre un punto dado de la superficie terrestre y un meridiano que se toma como punto referencial.

M

MEDICIÓN INTELIGENTE: Es un sistema de medición capaz de medir de forma automática el consumo de energía eléctrica, agua, gas los módulos de medición inteligente cuentan con un sistema inalámbrico que permiten la comunicación directa o indirecta con la empresa distribuidora.

O

OPTIMIZACIÓN: Es el proceso donde se maximiza o minimiza una función real dando valores y parámetros de entrada con el fin de buscar mejores resultados, es decir realizar una mejor gestión de recursos en función del objetivo planteado.

P

PROBABILIDAD DE COBERTURA: Es la precisión de los intervalos de cobertura que se tienen al momento de cubrir un área específica basada en distancia de cobertura.

R

RED INTELIGENTE: Es aquella que puede involucrar a los distribuidores y consumidores de energía para no solo recibir energía eléctrica de la red sino también enviarla en el caso de generar, es decir tener una conexión bidireccional con la red además de reforzarla haciendo así posible un equilibrio entre consumidores y productores y brindando capacidad, fiabilidad eficiencia y sostenibilidad en el sistema eléctrico.

S

RED DE SENSORES: Es una red inalámbrica que contiene dispositivos autónomos que monitorean condiciones físicas con el objetivo de resolver una tarea común.

T

TOPOLOGÍA: Es el mapa físico de una red para intercambiar datos entre ordenadores o dispositivos, esta topología consta de varios tipos como son bus, estrella, anillo, árbol, malla.

TRANSMISIÓN DE DATOS: Es el traslado de datos de un lugar hacia otro mediante ondas electromagnéticas esta transmisión de datos puede ser de forma alámbrica o inalámbrica.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
<i>Planteamiento del Proyecto</i>	1
1. ESTADO DEL ARTE	3
2. OBJETIVOS	7
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	7
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	7
3. METODOLOGÍA	7
4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	7
4.1 <i>Arquitectura Considerada para AMI</i>	9
4.2 <i>Localización de Estaciones Base y Medidores Inteligentes para la Simulación</i>	9
5. FORMULACION DEL PROBLEMA	11
6. METODOS DE CLUSTERIZACION	12
6.1 <i>Algoritmo de K-Means</i>	12
6.2 <i>Algoritmo de K-Medoids</i>	13
7. ANALISIS DE RESULTADOS	14
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	19
9. ESTRATEGIA PARA LA DIVULAGACIÓN DE LOS RESULTADOS	20
10. SECTORES BENEFICIADOS	20
11. REFERENCIAS	20

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) para el uso de Comunicaciones Celulares de una Red Inteligente.</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2. Ubicación de 100 Viviendas con Medidores Inteligentes en una Zona Residencial.</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3. Ubicación de 8 Estaciones Base (BS) para la Cobertura en una Zona Residencial.</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4. Área de Cobertura de las Estaciones Base antes de la Optimización en un Barrio Residencial</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5. Resultado de la Optimización de Estaciones Base para Cubrir 100 Usuarios (Medidores Inteligentes)</i>	<i>15</i>
<i>Figura 6. Agrupación de Usuarios en Función del Algoritmo K-Means.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7. Agrupación de los Usuarios en Función del Algoritmo K-Medoids.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 8. Comparación del agrupamiento entre los algoritmos de K-Means, K-Medoids e ILP.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 9. Comparación de Tiempo entre K-Means, K-Medoids e ILP.....</i>	<i>18</i>

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

DESPLIEGUE ÓPTIMO DE REDES INALÁMBRICAS PARA LA INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA

RESUMEN DEL PROYECTO

En este trabajo se presenta un modelo de optimización de las estaciones base que sirven como puntos de recolección de datos, los cuales son enviados desde los medidores inteligentes con el fin de dar cobertura a un grupo de usuarios que se agrupan en una zona residencial, desde las estaciones base se envían los datos recogidos a las empresas distribuidoras quienes llevaran el control del consumo de energía de cada área donde el usuario se encuentra ubicado. En la investigación se propone el método ILP y dos métodos heurísticos de agrupación de usuarios que son el método de K-Means y el método de K-Medoids para cada estación base que se requiere instalar en la zona. Se presenta una comparación entre los tres algoritmos que se propone para la agrupación de los usuarios, con el fin dar un análisis de cuál de los métodos de agrupación tienen menor error de cobertura, menor tiempo en ejecución y mejor clusterización y así poder ver cuál de los tres métodos aplicados es el más óptimo. Con la optimización de las estaciones de base se obtendrá una visión de cuantas BS (estaciones base) se instalara en la zona de manera real descartando a las demás BS que fueron propuestas en un principio como candidatas, teniendo como resultado una minimización de los costos de instalación y una red inteligente que sea eficiente, fiable y económica con el objetivo principal de dar cobertura a todos los usuarios o habitantes que se encuentran en la localidad que se benefician de la red de eléctrica.

ABSTRACT

In this document we present an optimization model of the base stations that serve as collection points for data that are sent from the smart meters in order to cover a group of users that are grouped in a residential area, which sends Data collected by the distribution companies taking control data of energy consumption in each area where the user is located. In the article, we propose the method ILP and two heuristic methods of cluster users who are the K-Means method and the method of K-Medoids for each base station is required to install in the area. The article presents a comparison between the three algorithms we propose for the grouping of users to discuss which of the clustering methods have less coverage error, less time and better clustering performance so you can see which of the three methods is applied more efficient with the use of graphics. With the optimization of base stations we can get a glimpse of how many BS (base stations) we will install in the real way ruling out other SB that were proposed initially as candidates, resulting in a cost minimization installation and an intelligent network that is efficient, reliable and economical with the main objective is to cover all users, or people who are in the area who benefit from the mains.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del Proyecto

La demanda de electricidad ha aumentado considerablemente en los últimos años por esta razón las empresas distribuidoras de electricidad tienen que desplegar gran número de dispositivos de medición [1], hoy los contadores eléctricos inteligentes (SM) están diseñados para satisfacer las necesidades de los usuarios y empresas distribuidoras, tanto en los procesos de corte y reconexión, así como la recopilación de datos y la facturación del servicio eléctrico[2]. Las redes de comunicación son importantes en una red inteligente, ya que varias tecnologías están siendo utilizadas, pero en el futuro las comunicaciones de redes inteligentes requieren última red de comunicación millas[3] diseñada para los requisitos esenciales no pueden ser tratados por las redes convencionales, por ejemplo, las redes deben tener la capacidad de soportar millones de contadores inteligentes[4][5] y también tener muchas estaciones base que deben ser colocadas en lugares estratégicos lo cual es demasiado caro y causa molestias a las personas que viven dentro de la zona ya que crea una contaminación visual. En este artículo se propone la optimización de estaciones base (BS) en una zona urbana donde hay usuarios que tienen medidores inteligentes en sus hogares, teniendo en cuenta la cobertura y capacidad de BS hemos desarrollado un algoritmo de optimización para colocar sólo las BS que cubren la mayor número de usuarios dentro del área delimitada[6][7].

La tecnología utilizada por las empresas de telecomunicaciones para proporcionar servicios de comunicación serán también las usadas para la agrupación y el envío de datos recolectados a las empresas de distribución de electricidad que deben estar presentes si la zona es rural o urbana, la ventaja de tener una red optimizada es que se puede tener una minimización de los costos en la construcción infraestructura de comunicaciones[8].

La operación de alta eficiencia energética de los hogares inteligentes traería un impacto importante en la mayoría de las organizaciones. La aplicación de las redes con sensores inalámbricos (WSN) en los hogares donde se recopilan datos para la BS[9]. La figura 1 muestra la agrupación de viviendas en una zona donde las BS que se han colocado están dispuestas a almacenar la información y también a recibir datos a través de una red de comunicaciones que se envían desde los medidores inteligentes[10], las estaciones base dependen de una característica de la cobertura y la capacidad[11][12] de acuerdo con la ubicación de la casa que tiene el SM, el algoritmo de simulación puede tomar una función compartida entre dos coberturas de las BS, lo que lleva a un reconocimiento inteligente para ver que opción es menor en una distancia métrica y dependiendo de este parámetro conectar a cualquiera de las BS. El principal objetivo del algoritmo es un distribuir grupos con el mayor número de usuarios y con el menor número de BS[13] teniendo en cuenta que el

comportamiento de los contadores inteligentes es similar a los dispositivos móviles con la única diferencia de que el medidor inteligente no se mueve. Esta estrategia debe tener en cuenta las características de cada vez mayor flexibilidad, cobertura y bajo costo[14] en la que se ha utilizado programación lineal entera (ILP) para resolver las ecuaciones obtenidas a partir del algoritmo de localización de SM que se hace bajo el software de modelado matemático, concluido el proceso de la resolución del método ILP para generar la ubicación óptima[15][16] de los puntos de BS que cubren toda la demanda de transmisión de datos.

En las siguientes secciones se va a presentar el algoritmo de agrupamiento basado en K-Means, que es un método de agrupación que crea un conjunto de datos en la que cada elemento pertenece a la media del grupo más cercano[17]. La investigación se centra en la red de comunicación óptima para el intercambio de información[18] con sus propios servicios inteligentes de medición (SG), lo cual reducirá los costos de infraestructura y mejorará el tiempo de intercambio de datos con una latencia considerable para una calidad de respuesta entre BS y SM.

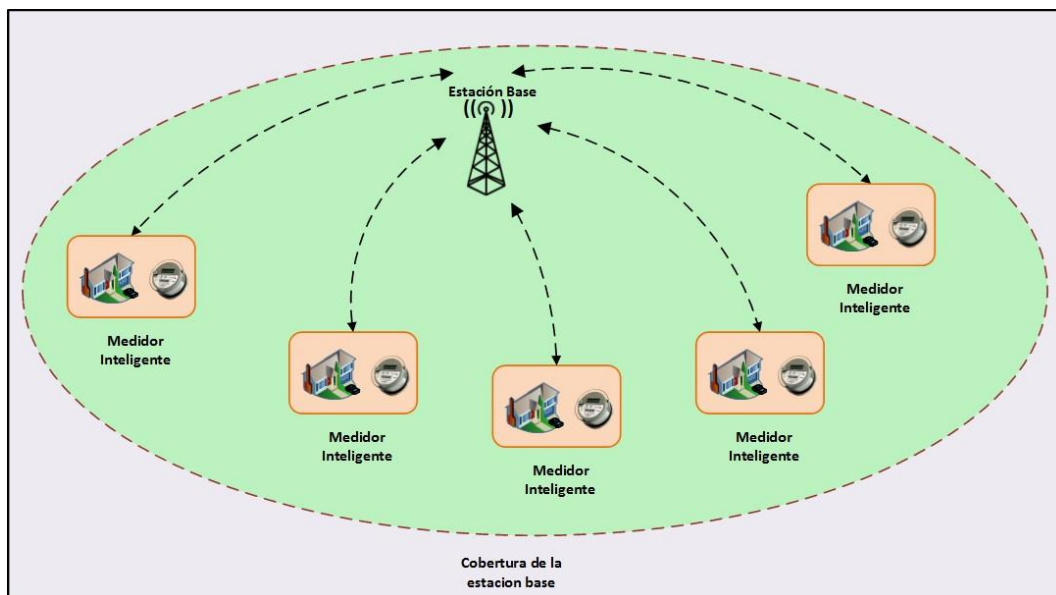


Figura 1. Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) para el uso de Comunicaciones Celulares de una Red Inteligente.

En la figura 1 se representa la conexión bilateral que se tiene entre la estación base que está encargada de la recolección de datos y los usuarios residenciales que poseen medidores de energía inteligentes, de igual manera se denota el área de cobertura que tiene cada estación base para poder apreciar la cantidad de usuarios que estarán cubiertos.

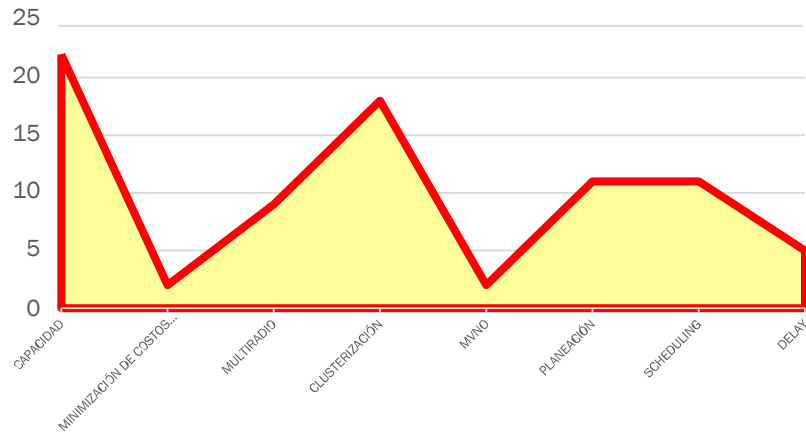
1. ESTADO DEL ARTE

DESPLIEGUE ÓPTIMO DE REDES INALÁMBRICAS PARA LA INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN INTELIGENTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA																												
DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO							RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA		SOLUCIÓN PROPUESTA										
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA - (SMART GRID) "ESTADO DEL ARTE"	COBERTURA	ESCALABILIDAD	CAPACIDAD	MULTIRADIOS	CAPACIDAD	MINIMIZACIÓN DE COSTOS Bandwidth-Distance Product (Mbps x km/\$)	MULTIRADIO	CLUSTERIZACIÓN	MVNO	PLANEACIÓN	SCHEDULING	DELAY	COSTO	ENRUTAMIENTO	CONDICIÓN DE CAPACIDAD	CONDICIONES DE COBERTURA	ILP	ALGORITMOS HEURÍSTICA o METAHEURÍSTICAS	SEGURIDAD	SCHEDULING	CAPACIDAD	COBERTURA	ESCALABILIDAD	COSTOS	
1	2014	How many smart meters can be deployed in a GSM cell	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	2014	Advanced Metering Infrastructure in the context of Smart Grids	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	2014	A monitoring system design in transmission lines based on wireless sensor networks	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	2014	Distributed Multiple-Access for Smart Grid Home Area Networks : Compressed Sensing With Multiple Antennas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	2014	Coalition-based cooperative packet delivery under uncertainty: A dynamic bayesian coalitional game	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

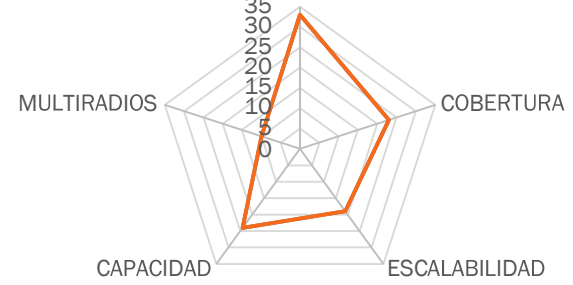
6	201 4	A multi-objective solution algorithm for optimum utilization of Smart Grid infrastructure towards social welfare	✗	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	✗	□	□	✗
7	201 3	Integration of distributed generation in the power distribution network: The need for smart grid control systems, communication and equipment for a smart city - Use cases	✗	□	✗	✗	□	✗	□	□	□	□	✗	✗	□	✗	□	□	□	✗	□	✗	✗	□	□	□	✗
8	201 3	Shortest Path for Optimal Routing on Advanced Metering Infrastructure using Cellular Networks	✗	✗	✗	✗	□	□	□	✗	✗	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	✗	□	✗	□	✗	□	✗
9	201 3	Optimal relay node placement in wireless sensor network for smart buildings metering and control	✗	✗	✗	□	□	✗	□	□	□	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	✗	□	□	✗	□	✗	□
10	201 3	Optimal node scheduling for integrated connected-coverage in wireless sensor networks	✗	✗	✗	□	□	□	□	□	✗	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	✗	□	□	✗	✗	✗	□
11	201 3	Performance analysis of radio propagation models for Smart Grid applications	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	✗	□	✗	□	□	✗	□	✗	□	✗	□	□	✗	✗	✗	□	✗
12	201 2	Research of Bi-directional Smart Metering System for EV Charging Station Based on ZigBee Communication	✗	✗	✗	□	□	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	✗	□
13	201 2	Priority-based traffic scheduling and utility optimization for cognitive radio communication infrastructure-based smart grid	✗	✗	□	✗	✗	✗	□	□	✗	□	□	□	□	□	✗	□	✗	□	✗	□	□	□	□	✗	✗
14	201 1	Optimal deployment of cellular networks for Advanced Measurement Infrastructure in Smart Grid	✗	✗	✗	✗	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	✗	✗	□	✗	□	□	□
15	201 1	Parallel energy-efficient coverage optimization with maximum entropy clustering in wireless sensor networks	✗	✗	✗	✗	✗	✗	□	□	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	✗	✗	□	✗	□	✗	□
16	201 1	Ant colony optimization based sensor deployment protocol for wireless sensor networks	✗	✗	✗	□	✗	✗	□	□	□	✗	✗	□	□	□	□	□	□	□	✗	□	✗	□	□	□	□
17	201 1	The Optimized K-means Algorithms for Improving Randomly-initialed Midpoints	✗	✗	✗	✗	□	✗	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

18	2010	Random access capacity evaluation with synchronized MTC users over wireless networks		☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☒			
19	2010	Energy-Efficient Smart Metering for Green Smart Grid Communication		☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐		
20	2013	Scalable distributed communication architectures to support advanced metering infrastructure in smart grid		☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐		
21	2010	Adaptive power management for wireless base stations in a smart grid environment		☒	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐		
22	2010	Smart Wireless Sensor Network Management Based on Software-Defined Networking		☒	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☒		
23	2009	Local coverage measurement algorithm in GPS-free wireless sensor networks		☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐		
24	2014	Bandwidth Analysis of Smart Meter Network Infrastructure		☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐		
25	2011	The applications of WiFi-based Wireless Sensor Network in Internet of Things and Smart Grid		☒	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	
26	2009	Parallel M-tree based on declustering metric objects using K-medoids clustering		☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	
27	2011	An improved K-Means clustering algorithm		☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	
28	2009	Research on Text Clustering Algorithm Based on Improved K_means		☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	
29	2009	Optimization and improvement based on K-Means cluster algorithm		☒	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	
30	2012	K-medoids based clustering of PlanetLab's slice-centric data		☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	
31	2009	Balance K-means algorithm		☒	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	
32	2013	Competitive K-means: A new accurate and distributed K-means algorithm for large datasets		☒	☒	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	
33	2010	Advanced Metering Infrastructure in the context of Smart Grids		☒	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒
			CANTIDAD :	33	23	19	24	10	22	2	9	18	2	11	11	5	5	6	19	12	15	15	3	10	20	21	11	13		

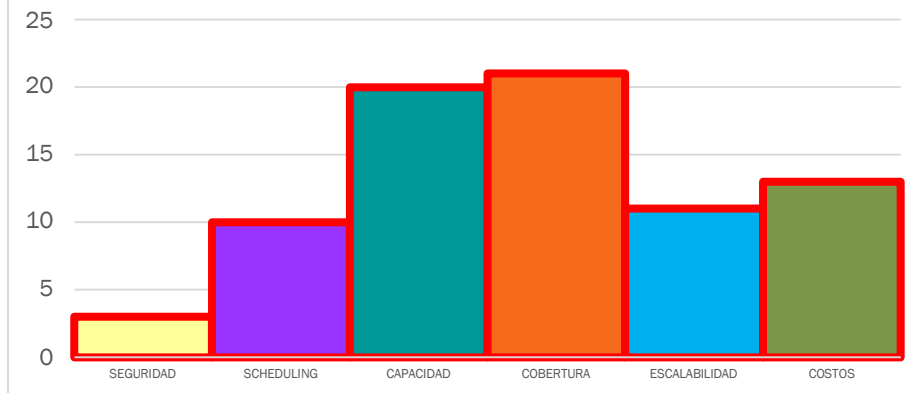
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA



INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA - (SMART GRID) "ESTADO DEL ARTE"



SOLUCIÓN DADA MEDIANTE



2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar el despliegue óptimo de redes inalámbricas para la infraestructura de medición inteligente de energía eléctrica, usando métodos de clusterización para el agrupamiento de usuarios de un área residencial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar mediante simulación la ubicación óptima de estaciones base usando métodos de Clusterización para los usuarios de un área determinada.
- Analizar los márgenes de error que se obtienen de los métodos de clusterización para los usuarios.
- Comparar el despliegue eficiente de las estaciones base que prestaran el servicio óptimo para los usuarios clusterizados con los métodos aplicados.

3. METODOLOGÍA

La metodología que se ha implementado en la investigación fue mediante datos históricos y descriptivos obtenidos por investigaciones que se han realizado en otros países, los cuales podemos tomar como ejemplo para la modelación y simulación de la investigación en transcurso. Al realizar el estudio de la información de otros países que han desarrollado estudios sobre cobertura y capacidad para la implementación de redes inalámbricas en la parte de distribución del sector eléctrico, se podrá obtener experiencias para guiar el desarrollo de la investigación.

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Una red inteligente se conceptualiza como una combinación de la red eléctrica y red de comunicación de superposición. Por lo tanto, la red de comunicación juega un papel importante para el intercambio de información en tiempo real[19] entre el usuario y la base receptora . La comunicación en tiempo entre el usuario y la estación base es de unos 10 minutos, este tiempo varía según el tipo de medidor utilizado, además la red de comunicación debe ser confiable y segura para enviar y recibir paquetes de datos y que estos no se pierdan durante la transmisión, o que alguien pueda intervenir en la red con la intención de alterar la información que viene desde el medidor.

La implementación de estructuras metálicas para la comunicación entre el usuario mediante las estaciones base de servicio es muy caro y por lo tanto se ha planteado reutilizar la infraestructura de comunicación celular o si la implementación es realmente necesaria poner una nueva estructura que funcione como una estación base, uno de los aspectos importantes que propone en este trabajo es que la implementación de redes de comunicación inalámbrica para reducir la contaminación visual que hoy en día es lo que las ciudades quieren evitar.

Los sistemas de redes inteligentes consisten en numerosos dispositivos como sensores, actuadores y contadores inteligentes. Cientos de dispositivos podrían ser encontrados en una sola casa o edificio comercial[20] con el fin de aumentar la fiabilidad de la comunicación de datos, al mismo tiempo que se aumenta la privacidad por otra parte en el proceso de medición automática de electricidad se debe requerir una tecnología de comunicación de dos vías para ofrecer servicios de corte y reconexión que serán controlados por las empresas distribuidoras de energía correspondientes al área donde está ubicado el usuario, la reducción de los costos de energía depende de la cantidad de información que puede almacenar una BS[21], la cual es usada por un gran número de usuarios para enviar datos medidos donde también se necesitan más canales de comunicación de gran capacidad, al mismo tiempo esto aumenta el costo de la red y puede ser posible que exista congestión del tráfico para muchos usuarios.

Las redes de sensores inalámbricos constan de varios dispositivos inalámbricos o llamados nodos, dependiendo de su ubicación puede tener una cobertura mayor o menor y obtener información de la zona con un tiempo mínimo de envío de datos a las estaciones base mediante un área cobertura. Una conexión inalámbrica permite la creación de redes ad-hoc que se pueden utilizar en espacios inteligentes para monitorear el comportamiento del área de estudio.

Las redes de sensores están basadas en dispositivos electrónicos y consumo de bajo costo estos se distribuyen dentro de un área, además los sensores son capaces de obtener información de su entorno para que esta se pueda procesar y enviar a través de enlaces inalámbricos a un recolector de información que está localizado en un punto específico. Los sensores de redes inteligentes tienen una característica con respecto a otras tecnologías para la recepción y envío de datos, que es tener una auto restauración, es decir busca nuevas vías para el envío de datos cuando se produce un fallo en cualquier red de nodos. La comprensión de la topología en la red ayuda a los sensores en tales procesos de toma de decisiones como la programación de enrutamiento y la medición de cobertura.

La cobertura puede ser calculada por un área central que sabe la ubicación de los sensores en la zona, esto se conoce como la medición de la cobertura global. El problema de la medición de la cobertura local es evaluar el radio para cubrir el diámetro de un sensor basado en la relación geométrica[22].

Cuando el rango de detección de un nodo o estación base ya no es un valor determinístico y la capacidad del WSN no es uniforme en todas las direcciones se lo considera como el efecto sombreado de una WSN[23].

4.1 Arquitectura Considerada para AMI

Los mayores retos que enfrenta una red AMI incluyen ondas de control y el uso de datos de medición, para la construcción de redes AMI a escala que satisfacen los requisitos importantes como las comunicaciones entre dispositivos incluyendo el ancho de banda, latencia, rendimiento y fiabilidad[20].

La red de comunicación puede ser cableada o inalámbrica, dependiendo de las condiciones físicas del lugar donde será desplegada, para tecnologías inalámbricas se considera el uso de GPRS y 4G. GPRS tiene una zona de alta cobertura, pero un ancho de banda inferior, mientras el 4G está muy extendido y da mayor ancho de banda para la comunicación de información. El ancho de banda disponible en ambas tecnologías está limitado por la distancia a la antena y el número de usuarios que se pueden conectar[24].

4.2 Localización de Estaciones Base y Medidores Inteligentes para la Simulación

Para la posible ubicación de las estaciones base se debe considerar un área donde existe la posibilidad de construir una la estructura física y que la cobertura también pueda abarcar el mayor número de usuarios, para ello hay que tener una idea clara de la posición de los medidores inteligentes que se encuentran en las casas, en la simulación ponemos los usuarios que tienen medidores inteligentes en una zona residencial como se muestra en la Figura 2, donde se consideró un total de 100 viviendas con los dispositivos de medición para la facturación del consumo de energía eléctrica, estos dispositivos de medición envían la información recopilada hacia las BS donde se almacena la información y luego enviados a una unidad de negocio que se encarga de transportar la información a las empresas de distribución eléctrica.

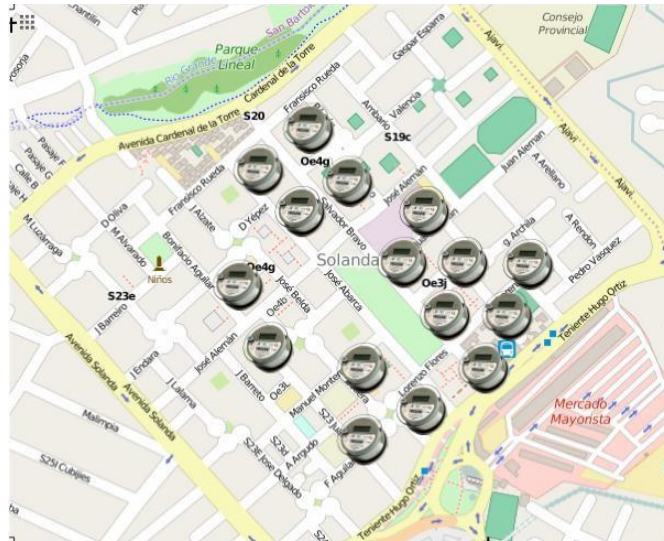


Figura 2. Ubicación de 100 Viviendas con Medidores Inteligentes en una Zona Residencial.

Para conocer la ubicación de las estaciones base se buscará los posibles sitios, teniendo en consideración el principal objetivo que es dar una mayor cobertura a todos los usuarios del área. Después de tener la ubicación de los medidores, se determina que para cubrir el área con una probabilidad del 90% de cobertura se necesitará un total de 8 BS que tienen las mismas características físicas y técnicas. Cabe destacar que las BS se colocan empíricamente y que después de usar un algoritmo de optimización se determina cuáles son las posiciones óptimas donde las BS son ideales para una red de comunicaciones y donde tendrán el mayor alcance para el grupo de usuarios designados.



Figura 3. Ubicación de 8 Estaciones Base (BS) para la Cobertura en una Zona Residencial.

Como se muestra en la Figura 3 cada estación base tiene un rango de cobertura de 0,13 kilómetros con una capacidad de 60 usuarios, las características de la BS cuentan como restricciones al momento de realizar la agrupación de los usuarios empleando los algoritmos de clusterización.

La tecnología utilizada para la transferencia de información entre el receptor y el transmisor es una tecnología wifi, ya que la distancia entre el SM y BS no están distante, además puede soportar hasta 100 usuarios y la tasa de transferencia inalámbrica de datos puede llegar a 2Mbps[25].

5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el momento de plantear la formulación del problema se considerara un grupo de usuarios como base de estudio denominado (SM) los cuales serán elementos pertenecientes a U, que realizaran la operación de envío de datos o información a través de una conexión inalámbrica la cual llegara a una estación base que serán elementos de BS. Para la agrupación de los usuarios estará en función de la capacidad que pueda proporcionar cada BS, tomando en consideración que los usuarios que se vayan a conectar a las estaciones base cercanas estén dentro del radio de cobertura que la BS vaya a proporcionar.

Para la designación del máximo número de usuarios que se vayan asignar a cada estación base se tomara en consideración dos parámetros, los cuales serían la probabilidad de cobertura y la capacidad que cada BS tenga en sus características técnicas proporcionadas por el fabricante.

Para el siguiente estudio se buscara optimizar el número de estaciones base que se necesitan desplegar en una zona residencial para el envío de los datos recolectados por los medidores de energía eléctrica.

$$\sum \quad (1)$$

La ecuación (1) representa la minimización de las estaciones base BS ubicadas en el sitio candidato que se realizara el estudio.

$$\sum \quad (2)$$

La ecuación (2) muestra la minimización de los usuarios U_i considerando como restricción la probabilidad de cobertura P_r que se utilizara para ver que usuarios están más cerca a las estaciones base.

(3)

$$\Sigma \quad \Sigma$$

La restricción (3) indica los vínculos entre la estación base y el usuario teniendo en cuenta la capacidad de cada BS.

6. MÉTODOS DE CLUSTERIZACIÓN

Para realizar el análisis con las técnicas de agrupamiento se clasifica un conjunto de elementos en grupos homogéneos para la resolución de problemas, donde hay un grupo de n elementos con

variable X_i donde $i \in R$, la definición de un grupo de K (número de grupos) con el fin de obtener un conjunto de grupos $(C_1, C_2, C_3, \dots, C_n)$ los cuales deberán satisfacer las siguientes condiciones:

(4)

(5)

(6)

El objetivo del análisis mediante clusterización es de encontrar un conjunto de grupos que deben ser cubiertos, estos elementos tienen que cumplir algún criterio de homogeneidad, por lo que es necesario definir una divergencia o condición para la clasificación de cada uno de los grupos, los métodos de agrupación son herramientas ideales para organizar objetos con su similitud y son capaces de saber qué objetos son vecinos para ser distribuidos a los diferentes clúster[26].

El proceso de clasificación está estructurado por un grupo N que tiene un conjunto de variables n , donde las restricciones o condiciones son determinadas por una matriz de similitud que coincide con las variables, en otras palabras un algoritmo de clasificación determina la agrupación de cada elemento y la respuesta de esta agrupación es representada con un gráfico o una matriz que conforman cada uno de los elementos que componen el grupo. La exactitud óptima depende de la clasificación y las restricciones que tiene cada algoritmo de agrupamiento.

6.1 Algoritmo de K-Means

El algoritmo de agrupamiento K-Means es un método de análisis de partición basado en conglomerados[27]. Este algoritmo primero llama y selecciona el número de objetos de K como grupos centrales, luego calcula la distancia entre cada uno de los elementos con respecto al centroide más cercano para asignar un clúster. La idea es separar los puntos medios de los conjuntos de la agrupación usando el algoritmo para calcular los centros de gravedad de las

diversas categorías[28], este es un proceso iterativo que se repite hasta la convergencia del resultado.

$$\sum \sum || \quad || \quad (7)$$

La ecuación 7 representa el algoritmo expresado matemáticamente, donde m_i es el centro de gravedad del clúster ij , además hay que considerar que K-Means sólo admite columnas numéricas como también ignora algunos tipos de modelo (nominales y ordinales), y trata a todas las columnas numéricas como columnas continuas.

Se requiere una entrada del número de objetos K que agruparan un conjunto $[X_1, X_2, X_3, \dots, X_n]$, y k grupos de salida a la suma de disimilitud entre cada objeto y su agrupación al centro más cercano o al de menor distancia[27]. El algoritmo K-Means incluye tres procesos: El primero es seleccionar el centro inicial del clúster; el segundo es una clasificación de los objetos de datos y el tercero es el ajuste de centros de los conglomerados[29].

6.2 Algoritmo de K-Medoids

Otro método utilizado para realizar una agrupación es el algoritmo k-Medoids que es similar al de K-Means, el objetivo k-Medoids es encontrar una solución de agrupamiento para un grupo de usuarios que necesitan minimizar su función objetivo, realizando un proceso iterativo para clasificar los objetos que se encuentran entre cada grupo basándose en la distancia y en sus respectivos centros también llamados medoides, que son los puntos centrales de cada grupo[30].

Este método es uno de los que el usuario utiliza para realizar la agrupación, el cual es utilizado para datos extremadamente grandes, debido a que es capaz de evitar perturbaciones en la distribución de los datos, también el algoritmo en lugar de usar el vector de los medios como centroides, este método propone el uso de un vector que corresponde a un conjunto de datos reales.

La formulación matemática para el algoritmo está dada por el valor absoluto cuadrado de la diferencia entre los objetos vecinos que se observaron en la siguiente fórmula matemática:

$$\sum || \quad || \quad (8)$$

Para agrupar una serie de elementos hay que tener en cuenta que los elementos de un grupo deben ser procesados por una ecuación matemática que consta de un algoritmo funcional (8), donde k-Medoids calcula de acuerdo a la ubicación de los usuarios que para nuestro caso de estudios están ubicados mediante coordenadas, esto significa que un usuario específico será el medoide al cual los otros usuarios estarán conectados. Este método es similar a K-Means con la única diferencia de que los centros de masa son uno de los elementos existentes del mismo grupo para formar una serie de

grupos que cubren todos los elementos, designando el número de centros necesarios para abarcar todos los usuarios que se vayan agrupar.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Figura 4 muestra la distribución entre 100 usuarios y 8 estaciones base que fueron considerados para el dimensionamiento de la red, para la asignación de usuarios dentro de un BS se considerara como una restricción el radio de cobertura para cada BS que determinara cual usuario tiene una distancia menor entre estaciones de base adyacentes.

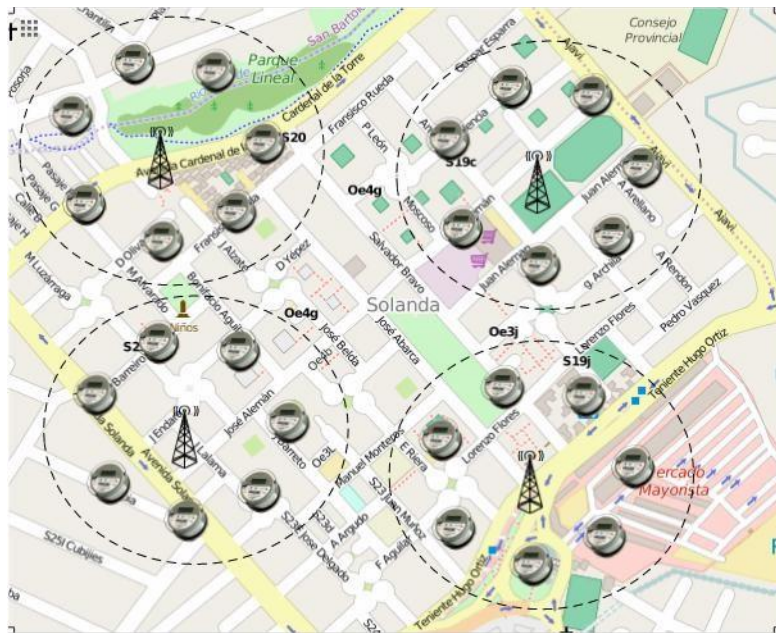


Figura 4. Área de Cobertura de las Estaciones Base antes de la Optimización en un Barrio Residencial.

Bajo este término se puede observar que usuario pertenece a cada estación base para tener una estadística del número de SM que están conectados a cada antena, por lo que también puede determinar la cantidad de datos en kilo bytes que se almacenan en la memoria del concentrador de la BS. Las circunferencias indican la cobertura que establece cada BS, esta restricción puede cambiar de acuerdo a la distancia requerida para cualquier otro escenario que necesite un mayor rango de cobertura.



Figura 5. Resultado de la Optimización de Estaciones Base para Cubrir 100 Usuarios (Medidores Inteligentes).

Con la ubicación de las BS y los SM que se muestran en las figuras anteriores se obtuvieron los parámetros que se utilizan para la generación de ecuaciones que dependen del número de clientes y estaciones base, para la solución de estas ecuaciones se aplicara un método iterativo basado en programación lineal que lleva a cabo la minimización de las funciones que están sujetas a ciertas limitaciones o restricciones de la función objetivo que es una función lineal de múltiples variables. Para llevar a cabo la optimización de un grupo de ocho estaciones base al azar que se establecieron para cubrir un número de 100 usuarios dentro de una zona residencial como se muestra en la Figura 4, se observara que para cubrir a todos los usuarios solamente se necesita de cuatro estaciones base BS descartando a las demás estaciones que no se consideran óptimas. Por lo tanto la instalación se reduce y cuesta 50% menos para la ubicación de la BS permitiendo que la implantación de contadores inteligentes en las zonas residenciales tenga una escalabilidad aceptable en la sociedad.

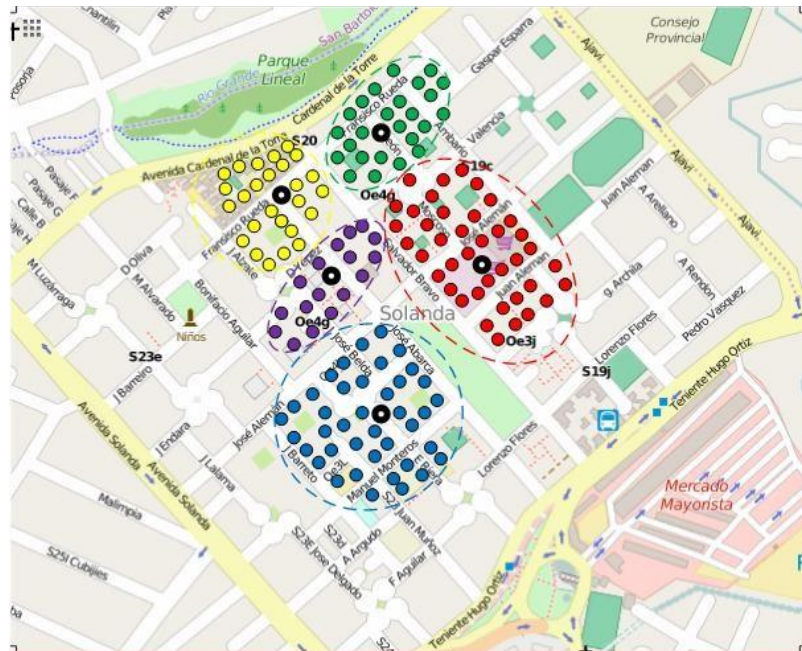


Figura 6. Agrupación de Usuarios en Función del Algoritmo K-Means.

K-Means es el algoritmo simple y eficaz en la producción de agrupaciones de resultados óptimos para muchas aplicaciones prácticas[31]. Cada grupo consta de al menos un objeto n y k perteneciendo cada grupo de elementos a los diferentes clúster. Esta condición implica que los diferentes grupos no pueden tener el mismo objeto [32][33]. La figura 6 muestra la agrupación de usuarios que se asignan a cada BS. Cada método de agrupación se basa en las condiciones de la capacidad del punto de acceso (BS), la cual considerará un número máximo y mínimo de los usuarios, por lo general estas características de los centros no móviles en relación a la capacidad pueden almacenar alrededor de 500 usuarios, en este caso se consideró un total de 100 contadores inteligentes los cuales se tomaron como muestra un mínimo de 10 y un máximo de 25 usuarios por punto de acceso, entonces el algoritmo mediante estas restricciones puede determinar la necesidad de un total de cinco grupos para cubrir toda el área como se muestra en la Figura 6, donde también se colocaron los centros de masa que son las ubicaciones de las estaciones base.

El algoritmo general está programado para el agrupamiento que depende de un número determinado de grupos K , pero considerando la condición de mínimos y máximos usuarios que hace que este método de agrupación tienda a realizar una agrupación para una situación más real, esto significa que los usuarios del grupo pueden adaptarse a cualquier capacidad de los equipos utilizados para la recepción de datos.

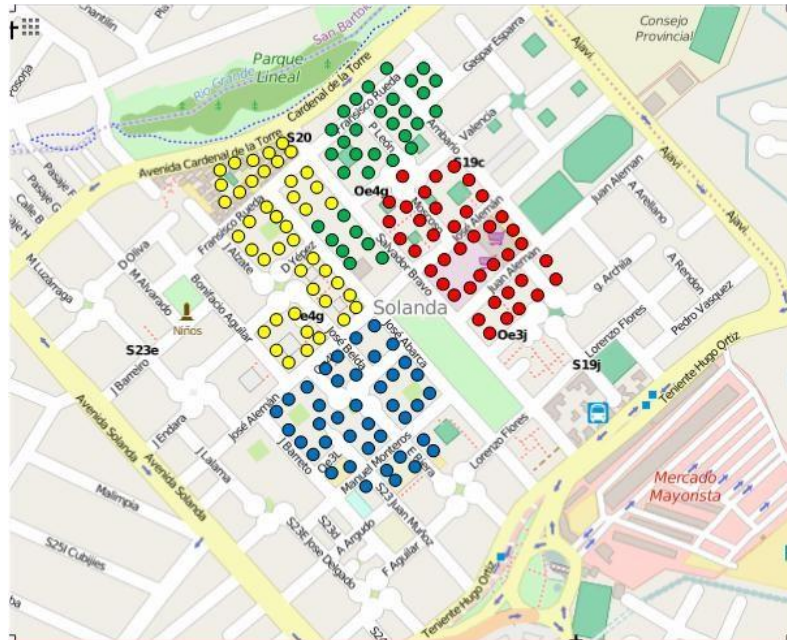


Figura 7. Agrupación de los Usuarios en Función del Algoritmo K-Medoids.

En la Figura 7 se observa un escenario en el que se aplicó el algoritmo k-Medoids y se realizó la agrupación de los n objetos, lo que resulta una respuesta de clusterización de 4 grupos en diferentes posiciones donde se observara que uno de los grupos tiene una distribución aleatoria de un máximo de 39 usuarios, mientras que también hay un grupo con un mínimo de 14 usuarios.

En la aplicación de este método de agrupación de objetos en el escenario se denota que en cada grupo comprendido hay al menos un usuario para cada clúster, esta condición implica que los diferentes grupos no pueden tener el mismo objeto, esa es la diferencia de este algoritmo de agrupación con respecto a otros.

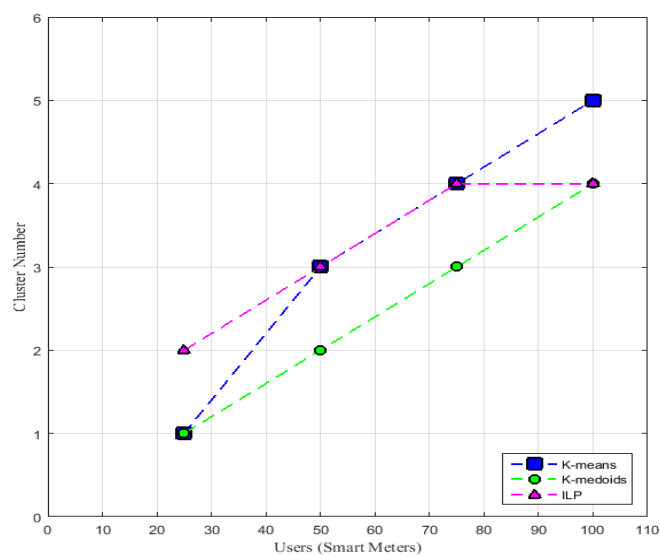


Figura 8. Comparación del agrupamiento entre los algoritmos de K-Means, K-Medoids e ILP.

En la Figura 8 se presenta la comparación de los 3 métodos utilizados en la clusterización del grupo de usuarios (SM), Las pruebas se han sido realizado con un intervalo de 25 usuarios, donde hay una diferencia en el número de grupos necesarios para cada método utilizado durante la maniobra de prueba, sólo los algoritmos K-Means y K-medoids comparten el mismo número de clúster que es de 4 durante la corrida de prueba que va de 25 usuarios hasta llegar a los 100 usuarios, el método de la agrupación ILP indica que hay la necesidad de tener 5 clúster para abarcar a todos los usuarios.

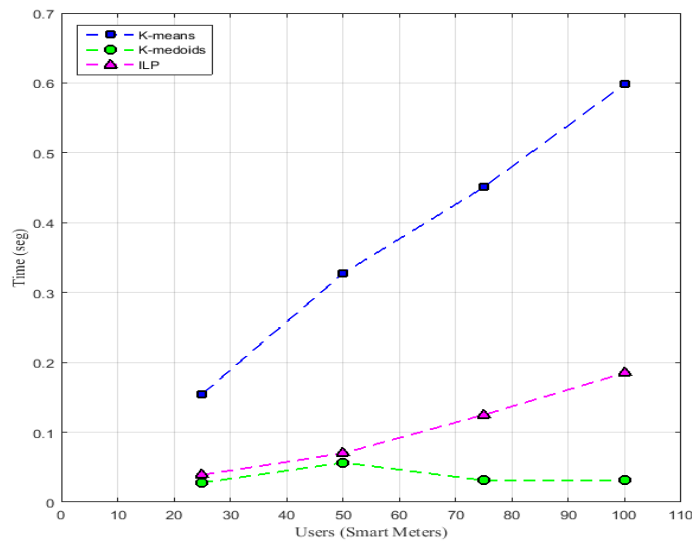


Figura 9. Comparación de Tiempo entre K-Means, K-Medoids e ILP.

En la Figura 9, se puede observar el comportamiento del método ILP y dos métodos heurísticos que se utilizarón para agrupar el escenario mostrado anteriormente, dando como resultado los tiempos que cada método se tarde en realizar la clusterización de los usuarios, con respecto a los usuarios agrupados tenemos que el método K -Medoids tiene una respuesta más rápida para agrupar con respecto al ILP y k-Means a medida que los usuarios aumentan.

Una de las observaciones que podemos denotar en relación a los resultados es el momento de la iteración para la clusterización que va de 25 a 50 usuarios, se denota que los tiempos de respuesta entre los métodos k-medoids e ILP tienen una mínima separación y cuando los usuarios aumentan su tiempo empieza a variar aumentado el tiempo en encontrar una solución óptima de agrupamiento.

8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este documento, se ha desarrollado una comparación entre algoritmos que permiten la optimización de la cantidad de estaciones base (BS) desplegadas en una zona residencial, además de la agrupación de usuarios realizada con el algoritmo de K-Means, K-Medoids y la agrupación con respecto a la capacidad y cobertura ILP, minimizando el número de estructuras que aportan a la contaminación visual en un vecindario y también la reducción de costos por la construcción de las BS también hay que considerar que el sitio candidato para la ubicación de una BS tenga el terreno físico correcto y que no exista algún inconveniente con las personas que habitan a los alrededores. Mediante el uso del algoritmo de agrupación usado se puede conocer el número exacto de usuarios que tiene cada una de las BS y determinar la cantidad de información almacenada en el concentrador que viene desde el grupo de usuarios que se conectan a la BS,

Con la investigación realizada se puede concluir que en la comparación realizada entre las tres maneras de clusterización, el método ILP muestra como resultados un grupo de usuarios que no pertenecen a ninguna BS mientras que el algoritmo de k-Means y k-Medoids agrupan en totalidad a todos los usuarios en un grupo K que es condicionado con un número máximo y mínimo de usuarios, entre los tres métodos propuestos el algoritmo de k-Means tiene una demora en realizar las iteraciones y la clusterización de usuarios, por esta razón que es útil y efectivo para la agrupación, mientras que el método ILP es más rápido en las iteraciones pero por las restricciones de capacidad y cobertura hace que sea un método más aplicado a una situación real, las pruebas con el algoritmo k-Medoids es más rápido y requiere menos esfuerzo computacional, además en la asignación de grupos para un conjunto de medidores inteligentes el que necesita de mas clúster es el k-Means mientras que los demás algoritmos comparten un resultado final de 4 clúster para cubrir a todos los usuarios de la zona

También para las características de la BS que han sido usadas en la modelación como son capacidad, radio de cobertura y probabilidad es recomendable que exista una topología tipo estrella para formar el enlace entre usuario (SM) y BS, mediante la investigación se demuestra que la medición inteligente en una zona urbana es factible por lo que busca incentivar la implementación de este método de medición inteligente a nivel residencial.

Las futuras extensiones de este trabajo incluyen una propuesta de medición inteligente en las zonas rurales con la optimización de SB. Además de analizar el tráfico de datos, la cantidad de paquetes perdidos, la velocidad de trasmisión y recepción de datos y la posible interferencia que existe entre BS y usuario.

9. **ESTRATEGIA PARA LA DIVULGACIÓN DE LOS RESULTADOS**

Dentro de las estrategias de divulgación se plantean las siguientes:

1. Informe escrito final como producto de la tesis. El informe será entregado a biblioteca UPS
2. Jornada Científica de Ingeniería Eléctrica.

10. **SECTORES BENEFICIADOS**

Los sectores beneficiados con el proyecto son los siguientes:

1. Universidad Politécnica Salesiana
2. Grupos de investigación relacionados con el proyecto
3. Sectores públicos y privados relacionados al tema de investigación

11. **REFERENCIAS**

- [1] G. C. Madueno, C. Stefanovic, and P. Popovski, "How many smart meters can be deployed in a GSM cell?," *2013 IEEE Int. Conf. Commun. Work. ICC 2013*, pp. 1263–1268, 2013.
- [2] C. Selvam and K. Srinivas, "Advanced metering infrastructure for smart grid applications," *Recent Trends ...*, pp. 145–150, 2012.
- [3] Y. Yang, G. Xie, X. Xu, and Y. Jiang, "A monitoring system design in transmission lines based on wireless sensor networks," *Energy Procedia*, vol. 12, pp. 192–199, 2011.
- [4] R. H. Y. Louie, W. Hardjawana, Y. Li, and S. Member, "Distributed Multiple-Access for Smart Grid Home Area Networks : Compressed Sensing With Multiple Antennas," vol. 5, no. 6, pp. 2938–2946, 2014.
- [5] K. Akkarajitsakul, E. Hossain, and D. Niyato, "Coalition-based cooperative packet delivery under uncertainty: A dynamic bayesian coalitional game," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 12, no. 2, pp. 371–385, 2013.
- [6] S. Chanda and A. De, "A multi-objective solution algorithm for optimum utilization of Smart Grid infrastructure towards social welfare," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 58, pp. 307–318, 2014.
- [7] S. Ruiz-Romero, A. Colmenar-Santos, F. Mur-Pérez, and Á. López-Rey, "Integration of distributed generation in the power distribution network: The need for smart grid control systems, communication and equipment for a smart city - Use cases," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 38, pp. 223–234, 2014.
- [8] E. Inga, R. Hincapié, C. Suárez, and G. Arévalo, "Shortest Path for Optimal Routing on Advanced Metering Infrastructure using Cellular Networks," 2015.
- [9] P. H. J. Chong, "Optimal relay node placement in wireless sensor network for smart buildings metering and control," *2013 15th IEEE Int. Conf. Commun. Technol.*, pp. 456–461, 2013.
- [10] L. Aslanyan, H. Aslanyan, and H. Khosravi, "Optimal node scheduling for integrated connected-coverage in wireless sensor networks," *CSIT 2013 - 9th Int. Conf. Comput. Sci. Inf. Technol. Revis. Sel. Pap.*, 2013.
- [11] C. Muller, H. Georg, M. Putzke, and C. Wietfeld, "Performance analysis of radio propagation models for Smart Grid applications," *Smart Grid Commun. (SmartGridComm), 2011 IEEE Int. Conf.*, pp. 96–101, 2011.

- [12] Z. Yuan, H. Xu, H. Han, Y. Zhao, and E. Drive, "Research of Bi-directional Smart Metering System for EV Charging Station Based on ZigBee Communication," pp. 1–5, 2014.
- [13] J. Huang, H. Wang, Y. Qian, and C. Wang, "Priority-based traffic scheduling and utility optimization for cognitive radio communication infrastructure-based smart grid," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 1, pp. 78–86, 2013.
- [14] E. Inga, G. Arevalo, and R. Hincapie, "Optimal deployment of cellular networks for Advanced Measurement Infrastructure in Smart Grid," *2014 IEEE Colomb. Conf. Commun. Comput. COLCOM 2014 - Conf. Proc.*, 2014.
- [15] X. Wang, J. Ma, and S. Wang, "Parallel energy-efficient coverage optimization with maximum entropy clustering in wireless sensor networks," *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 69, no. 10, pp. 838–847, 2009.
- [16] W.-H. Liao, Y. Kao, and R.-T. Wu, "Ant colony optimization based sensor deployment protocol for wireless sensor networks," *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 6, pp. 6599–6605, 2011.
- [17] G. Shi, "The Optimized K-means Algorithms for Improving Randomly-initialed Midpoints XI XI XI," pp. 1212–1216, 2013.
- [18] R. C. D. Paiva, R. D. Vieira, and M. Säily, "Random access capacity evaluation with synchronized MTC users over wireless networks," *IEEE Veh. Technol. Conf.*, 2011.
- [19] S. Bera and S. Misra, "Energy-Efficient Smart Metering for Green Smart Grid Communication," pp. 2466–2471, 2014.
- [20] Z. Popovic and V. Cackovic, "Advanced Metering Infrastructure in the context of Smart Grids," pp. 1509–1514, 2014.
- [21] D. Niyato, X. Lu, and P. Wang, "Adaptive power management for wireless base stations in a smart grid environment," *Wirel. Commun. IEEE*, no. December, pp. 44–51, 2012.
- [22] A. De Gante, "Smart Wireless Sensor Network Management Based on Software-Defined Networking," pp. 71–75, 2014.
- [23] H. Chizari, T. Poston, S. Abd Razak, A. H. Abdullah, and S. Salleh, "Local coverage measurement algorithm in GPS-free wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 23, pp. 1–17, 2013.
- [24] K. Balachandran, R. L. Olsen, and J. M. Pedersen, "Bandwidth Analysis of Smart Meter Network Infrastructure."
- [25] L. Li, X. Hu, K. Chen, and K. He, "The applications of WiFi-based Wireless Sensor Network in Internet of Things and Smart Grid," *Proc. 2011 6th IEEE Conf. Ind. Electron. Appl. ICIEA 2011*, pp. 789–793, 2011.
- [26] C. Qiu, Y. Lu, P. Gao, J. Wang, and R. Lv, "Parallel M-tree based on declustering metric objects using K-medoids clustering," *Proc. - 9th Int. Symp. Distrib. Comput. Appl. to Business, Eng. Sci. DCABES 2010*, pp. 206–210, 2010.
- [27] J. Wang, "An improved K-Means clustering algorithm Juntao Wang," *Technology*, no. m, pp. 4–6, 2011.
- [28] L. X. L. Xinwu, "Research on Text Clustering Algorithm Based on Improved K_means," *2009 ETP Int. Conf. Futur. Comput. Commun.*, no. 1, pp. 19–22, 2009.
- [29] J. Wu and W. Yu, "Optimization and improvement based on K-Means cluster algorithm," *2009 2nd Int. Symp. Knowl. Acquis. Model. KAM 2009*, vol. 3, pp. 335–339, 2009.
- [30] A. Haider, "K-medoids based clustering of PlanetLab's slice-centric data," *Appl. Math. Inf. Sci.*, vol. 7, no. 6, pp. 2373–2384, 2013.
- [31] H. Wang, J. Qi, W. Zheng, and M. Wang, "Balance K-means algorithm," *Proc. - 2009 Int. Conf. Comput. Intell. Softw. Eng. CiSE 2009*, pp. 3–5, 2009.
- [32] R. M. Esteves, T. Hacker, and C. Rong, "Competitive K-means: A new accurate and distributed K-means algorithm for large datasets," *Proc. Int. Conf. Cloud Comput. Technol. Sci. CloudCom*, vol. 1, pp. 17–24, 2013.
- [33] J. Zhou, R. Qingyang Hu, and Y. Qian, "Scalable distributed communication architectures to support advanced metering infrastructure in smart grid," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 23, no. 9, pp. 1632–1642, 2012.