

OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO DEL CONSUMO ELÉCTRICO BASADO EN LA RESPUESTA A LA DEMANDA

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO DEL CONSUMO ELÉCTRICO
BASADO EN LA RESPUESTA A LA DEMANDA**

**AUTOR:
JUAN MIGUEL CHALCO CORELLA**

**DIRECTOR:
EDWIN MARCELO GARCÍA TORRES**

Quito, Febrero 2017

Juan Miguel Chalco Corella

**OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO DEL CONSUMO ELÉCTRICO BASADO EN
LA RESPUESTA A LA DEMANDA**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2017

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña de autores e información de contacto:



Juan Chalco (Y'1987-M'07). Nació en Quito, Ecuador. Bachiller en Ciencias con especialización Físico Matemático en el Colegio Nacional Rumiñahui, Ecuador 2006. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo consiste en realizar una optimización del consumo eléctrico dentro de un usuario comercial, utilizando respuesta a la demanda y optimización de recursos económicos.

jchalcoc@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Marcelo García (Y'1978 –M'10). Nació en Quito Ecuador. Graduado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana y Master en Gestión de Energía de la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2016. Actualmente se encuentra cursando su doctorado en Ingeniería con la Universidad Pontificia Bolivariana- Medellín Colombia. Su trabajo de investigación se enfoca en: Respuesta a la Demanda, sistemas de automatización Scada, microgrids, sistemas de energía renovable, generación distribuida y Smart grid. Es profesor de la Universidad Politécnica Salesiana-Ecuador en Ingeniería Eléctrica. Actualmente es miembro de Girei Research Group.

egarcia@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2017 Universidad Politécnica Salesiana

Quito – Ecuador

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Edwin Marcelo García Torres, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Optimización multiobjetivo del consumo eléctrico basado en la respuesta a la demanda*, realizado por Juan Miguel Chalco Corella, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Febrero 2017



.....
Edwin Marcelo García Torres

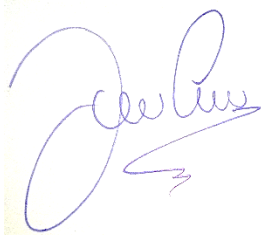
Cédula de identidad: 1803087400

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Juan Miguel Chalco Corella, con documento de identificación N° 1720530953, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “Optimización multiobjetivo del consumo eléctrico basado en la respuesta a la demanda en usuarios comerciales”, 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: Juan Chalco Corella

Cédula: 1720530953

Fecha: 02/02/17

Índice General

Índice General	1
Índice de Figuras	1
Índice de tablas.....	1
Resumen.....	1
Abstract	1
1. Introducción	2
2. Respuesta a la Demanda Eléctrica	4
2.1 Programas de respuesta a la demanda.....	6
2.1.1 Respuesta a la demanda por incentivos.....	7
2.1.2 Respuesta a la demanda por precios.....	7
3. Continuidad del servicio eléctrico y gestión dentro de los edificios.....	8
4. Optimización Multiobjetivo	9
5. Formulación del problema	12
6. Optimización	12
7. Resultados	15
Conclusiones	16
Referencias.....	17
Matriz Estado del Arte	21

Índice de Figuras

Figura 1. Características Generales del consumo eléctrico en usuarios comerciales .	4
Figura 2. Supervisión AMI y control de carga usuario comercial	9
Figura 3. Consumo Eléctrico Usuario Comercial	10
Figura 4. Cargas trasladables, medición 24hrs.....	11
Figura 5. Cargas no trasladables	11
Figura 6. Porcentaje consumo Usuario Comercial.....	13
Figura 7. Consumo Iluminación.....	15
Figura 8. Consumo Servicios Generales	16
Figura 9. Consumo Aires Acondicionados	16
Figura 10. Consumo Cargas Trasladables.....	16
Figura 11. Resumen de Indicadores del estado del arte	27

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen Datos Usuario Comercial	13
Tabla 2. Pseudocódigo Optimización Multiobjetivo para la respuesta a la demanda	14
Tabla 3. Tabla de resultados finales	15
Tabla 4. Matriz Estado del Arte	21

OPTIMIZACIÓN MULTI OBJETIVO DEL CONSUMO ELÉCTRICO BASADO EN LA RESPUESTA A LA DEMANDA

Resumen

El siguiente documento trata sobre la utilización de sistemas de ahorro energético apoyado en métodos multiobjetivos que permitan minimizar el consumo eléctrico de un usuario comercial en un determinado tiempo y bajar el pago excesivo en la planilla eléctrica, esto se lo realizará aplicando el uso de la respuesta a la demanda eléctrica mediante el traslado de cargas eléctricas no representativas del usuario comercial hacia horarios fuera de los considerados picos dentro del sistema nacional interconectado, esta aplicación es dirigida a un ahorro energético así como la reducción en el uso de equipos obsoletos que están conectados a la red eléctrica, además se puede disminuir las emisiones de CO₂ al ambiente por el arranque y funcionamiento de centrales térmicas que son consideradas centrales de respaldo en las horas de máxima demanda eléctrica. Los mecanismos de manejo de la demanda permiten a las empresas distribuidoras dar un mejor servicio sin afectar al cliente por la desconexión de la energía bruscamente, además permite aplicar mecanismos de control dependiendo del cliente y la forma de programas de confiabilidad eléctrica que se maneje en cada uno de los países a los que se aplique.

Palabras Clave: Cargas Trasladables, Energías Renovables, Generación Eléctrica, Minimización, Maximización, Optimización Multiobjetivo, Respuesta a la demanda, Smart Grid.

Abstract

The following document deals with the use of energy saving systems supported by multiobjective methods that allow to minimize the electric consumption of a commercial user in a certain time and to reduce the excessive payment in the electric template, this was realized applying the use of the answer the electric demand by means of the transfer of electric charges without representations of the commercial user towards schedules outside the peaks countries within the national interconnected system, this application is directed to an energy saving as well as the reduction in the use of obsolete equipment that are connected to The electricity grid can also reduce CO₂ emissions to the environment by starting and operating thermal power plants that are considered backup power stations in the hours of maximum electrical demand. The mechanisms of demand management allow the distributors of the companies give a better service without affecting the customers by the disconnection of the power abruptly, they also allow to apply mechanisms of control depending on the client and the form of programs of electrical reliability that is handled in each of the countries to which it applies.

Keywords: Demand Response, Electric Generation, Minimization, Maximization, Multi-objective Optimization, Renewable Energy, Smart Grid, Transferable Loads.

1. Introducción

Lo primordial dentro de un sistema eléctrico es la provisión de la energía eléctrica a todos los usuarios que estén conectados a la red, brindando un servicio rentable y con estándares de calidad, en el cual realiza un control y manejo eficiente de la energía eléctrica convirtiéndose en uno de los aspectos importantes para tener un ahorro energético y económico[1][2]. Al manejar una eficiencia energética que le permita al usuario comercial cambiar su consumo eléctrico en momentos críticos de mayor demanda, los mecanismos que rodea a la respuesta de la demanda eléctrica, se convierte en el punto de partida inicial hacia tal objetivo planteado[3].

La respuesta a la demanda eléctrica se caracteriza por optimizar el consumo eléctrico de un usuario en particular, cambiando el hábito de uso de la energía eléctrica y con ello mejorar eficientemente el rendimiento de las cargas que conforman a dicho usuario, esto cada día se convierte en una alternativa dentro de los recursos energéticos existentes considerando una disminución de la demanda en las horas pico, en donde se produce una mayor demanda eléctrica y el costo del consumo eléctrico es elevado a comparación del consumo en horas que son consideradas como valle, además de lo mencionado, al trabajar dentro del rango de horas pico puede causar una saturación del sistema y por ende un apagón del sector por una sobre demanda[4]. Para ello se debe tener presente el consumo de cada usuario sobre su demanda y los cambios que pueden darse en el sistema eléctrico durante los horarios de uso, considerando los rangos críticos de mayor demanda, tomando en cuenta que cada año hay un aumento de usuarios conectados a la red eléctrica del sistema nacional, lo que conlleva a una saturación del

sistema eléctrico causando fallas en los sistemas, interrupciones, salida de equipos en subestaciones o daños por sobrecargas.[5][6]. En cada país se implementan procesos para robustecer su sector eléctrico y con ello satisfacer la demanda de consumo en su país, entregando confiabilidad al usuario final sin interrupciones por un fallo del sistema, parte del proceso de confiabilidad consiste en la integración de centrales de energía renovable y energía térmica como respaldo cuando existe una gran demanda por la cantidad de usuarios conectados a la red eléctrica en las horas pico.

Actualmente existen dos grandes grupos de programas para la respuesta a la demanda eléctrica, los cuales se manejan mediante programas basados en incentivos económicos (PBI), el otro programa en el tiempo de uso y consumo (PBT)[7][8]. El factor de carga se convierte en un dato importante que forma parte en los cálculos de la tarifa de la planilla eléctrica de las empresas distribuidoras, la cual da como indicativo la forma en que se está manejando y consumiendo el suministro de un usuario en general. Para el caso se relaciona el consumo en un tiempo determinado con la demanda máxima en dicho tiempo[9][10][11].

Al utilizar métodos multiobjetivos se puede realizar una predicción y toma de decisiones sobre el consumo de la demanda eléctrica, además, el uso del modelo predictivo aplicado a la respuesta a la demanda eléctrica permite tomar decisiones de mejoras dentro de las instalaciones eléctricas del usuario, reduciendo así la demanda en los consumidores finales mediante la organización de las cargas eléctricas representativas en horas que el costo de producción de la energía es elevado. Actualmente existe el

incremento de tecnologías, procesos y ajustes que son capaces de optimizar el uso la demanda eléctrica sea cual sea el usuario en referencia. Si se cuenta con una comunicación bidireccional tanto para mandar y recibir los datos del suministro, se aumentaría la validación de datos en tiempo real, hasta llegar a manejar automáticamente la realización de cortes y reconexiones sin necesidad que la empresa eléctrica se haga presente en un determinado sitio para solventar un problema por un corte de energía en particular, al contar con redes inteligentes de supervisión de medición avanzada (AMI) existiría la capacidad de procesar, controlar y optimizar el consumo dentro del usuario y la empresa distribuidora[12], optimizando el pago excesivo de la planilla eléctrica, además de eliminar las pérdidas no técnicas que puede generar en una distribución eléctrica, para lograr esto se debe manejar las optimizaciones multiobjetivos que permiten obtener información del comportamiento del sistema al que vamos a estudiar, poder tomar acciones de mejoras y obtener beneficios de ahorro energético durante las horas de mayor consumo eléctrico, teniendo un punto de partida en el cual se pueda ver el comportamiento de la demanda de un usuario y ver las características para mejorar el proceso de optimización del consumo eléctrico[13][14][15].

En adelante el artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección II considera que el objetivo de optimizar y minimizar el consumo eléctrico con el uso de técnicas y tecnologías que está al alcance del usuario puede ser de mucha ayuda, adicional a ello en esta sección detalla la situación actual del funcionamiento de la respuesta a la demanda según el tipo de usuario y los programas aplicados para poder realizar el control de las cargas, sea

por incentivos o por el precio mediante un acuerdo entre la empresa distribuidora y el cliente final.

La sección III introduce el tema de la continuidad del servicio eléctrico del usuario comercial y como este afecta al sistema eléctrico o genera alternativas para mejorar los tipos de respuesta de uso, ya sea utilizando sistemas de control directo de cargas, sistemas de medición inteligente que permita obtener datos en tiempo real y un control directo sobre las cargas con el fin de minimizar el consumo eléctrico.

En la sección IV describe el uso del método multiobjetivo que permite visualizar el comportamiento del consumo energético en un determinado tiempo, partiendo de varias funciones u objetivos en conjunto con restricciones dadas por el usuario como son la demanda máxima, mínima y cargas representativas[16]. Para lo cual realiza una aproximación de valores mediante la elección de decisiones bajo una supervisión de uso de equipos, a fin de que estos no afecten directamente el consumo eléctrico y se pueda disminuir el consumo de la demanda en determinadas horas de mayor consumo.

La simulación y validación, permite visualizar los parámetros significativos en la toma de decisiones convirtiéndose el punto de partida para determinar si es adecuado o no la desconexión de cargas eléctricas en un determinado tiempo o a su vez realizar un sistema automatizado dentro del usuario comercial. En la Figura 1 muestra la forma conceptual del manejo de cargas y equipo que conforman el usuario comercial elegido para el análisis en este documento y el planteamiento de seccionar cargas en las horas pico, considerando el ajuste de equipos de calefacción, ventilación e iluminación

en ambientes que no son utilizados en dichas horas.



Figura 1. Características Generales del consumo eléctrico en usuarios comerciales

2. Respuesta a la Demanda Eléctrica

La energía eléctrica al no ser un servicio que se almacena, presenta variaciones en el tiempo dependiendo del consumo que se realice por parte de un usuario, por lo que el suministro debe ser el mismo en su consumo vs lo producido.

Dicha demanda varía dependiendo del tipo de cliente, infraestructura eléctrica y hábitos de consumo. La demanda eléctrica es un dato de potencia que se contempla en el tiempo consumido por el cliente, esto quiere decir que mientras más equipos estén

conectados a la red eléctrica mayor demanda tendrá un usuario y ese valor de demanda tendrá un costo final de pago a la empresa distribuidora.

El tiempo que dure dicho consumo se conoce como intervalo de demanda los mismos pueden ser corto, mediano o largo plazo. La respuesta a la demanda como herramienta está formulada para minimizar el consumo eléctrico de un usuario comercial sujeto a la operatividad completa y a la maximización de los recursos energéticos del sector eléctrico y de los equipos electrónicos que maneja el usuario.

Al hablar de realizar una implementación de la respuesta a la demanda (RD) se verifica la reducción o restricción en el consumo eléctrico de un cliente, la otra opción es la utilización de equipos, electrodomésticos y redes que sean renovables, capaces de adaptarse a un cierto modelo de consumo sin que sufra un cambio en su funcionamiento, la idea es que la demanda del usuario sea flexible y se acople a los cambios internos sin afectar o congestionar la infraestructura de generación, transmisión y distribución en el sistema eléctrico[17]. El usuario comercial puede participar de un programa para la respuesta a la demanda dependiendo de su capacidad y consumo eléctrico, debido a que maneja un costo diferente de pago a la empresa distribuidora el cual es cancelado por el valor de consumo de potencia.

Los valores establecidos para el pago del consumo vienen dados por diferentes aspectos a los cuales se suma los precios de combustible, costos por instalaciones, mantenimientos, acuerdos, tratados o incentivos, por tal razón, es necesario conocer los valores emitidos en las horas pico y el tipo de centrales que entran a funcionar. Para controlar

dicha demanda es importante conocer las cargas representativas y equipos que trabajan de forma periódica o esporádica, el usuario comercial puede considerar realizar una respuesta a la demanda reduciendo el consumo eléctrico en las horas de máxima demanda, desplazando sus cargas representativas y actividades a horas que no sean de demanda punta o a su vez puede tener un plan para manejar una generación distribuida en sus instalaciones. En muchos de los casos los usuarios comerciales manejan equipos de refrigeración, ventilación y calefacción que representan su mayor consumo en la época del verano o invierno dependiendo la zona geográfica en donde se encuentre las instalaciones del usuario, estos artefactos eléctricos a veces son ineficientes para operar lo que causa mayor consumo eléctrico al momento del arranque y funcionamiento de dichos equipos, de la misma manera la utilización de iluminación en lugares como pasillos u oficinas que se encuentran cerca de ventanales es innecesaria en momentos que existe luz natural. La opción de mejorar en la demanda eléctrica sería en controlar dichas cargas directamente por un sistema automatizado que permita encenderlas o apagarlas dependiendo del clima y tipo de luz que se tenga en ese momento[18].

Desde esta perspectiva resulta importante considerar además el caso de equipos de cómputo que permanecen encendidos durante un horario laboral enfatizando en las horas pico que se manejen dependiendo del país, los servidores de computo serán considerados en este artículo como cargas no trasladables eso quiere decir que no puede ser tomadas en cuenta para realizar una respuesta en la demanda eléctrica, debido a que son cargas importantes para el trabajo del usuario, así mismo

la iluminación en general que puede conformar un edificio de un usuario comercial, ascensores, equipos de aires acondicionados, calefacción, impresoras, equipos de proyección en salas de reuniones serán consideradas como cargas trasladables y serán caso de estudio como opción de optimización dentro del consumo eléctrico, esto mediante la trasladación de dichas cargas a un horario de menor consumo eléctrico o a su vez realizando un control directo mediante automatismos dentro de las instalaciones[19][20][21].

Para el caso residencial, se puede apagar equipos e iluminación en ambientes que no son usados por los usuarios, además mover las actividades de uso de electrodomésticos como lavadoras y secadoras a un horario de baja demanda, algunos estudios indican que el consumo total se debe al uso de sistemas de calefacción[22].

En el caso del usuario industrial es un poco complicado reprogramar los procesos de maquinarias, sistemas de automatización y eventos industriales, pero no todo es imposible, el usuario industrial debe evaluar la ejecución de mantenimientos, pruebas y demás para los horarios de menor consumo con el fin de no saturar a la red eléctrica, de la misma manera reorganizar las actividades de producción a las horas valle sin afectar el consumo eléctrico. Realizar o aplicar acciones para la respuesta a la demanda representa un costo en las acciones y medidas que se apliquen para que se tome en cuenta la reducción del consumo de electricidad, las empresas distribuidoras son capaces de satisfacer la demanda punta de un determinado número de usuarios por temas de confiabilidad y operatividad del sistema, al brindar dicho servicio de calidad sin congestión, están en la situación de recurrir a la construcción de centrales

de energía renovable como fotovoltaicas y eólicas que cuentan con un sistema eficiente que hoy por hoy está ingresando al mercado eléctrico en gran escala y son indispensables para descongestionar la demanda máxima que existe en un determinado país evitando con ello además el uso de centrales térmicas las mismas que ingresan a funcionar actualmente como respaldo durante las horas pico, a pesar de esto para dar confiabilidad al sistema eléctrico actual y entregar un buen servicio al cliente, es necesario el arranque y funcionamiento de las centrales térmicas.

Existen costos independientes para cada una de las fases que compone un sistema eléctrico nacional como son: generación, transmisión y distribución, dichos costos económicos en la distribución de la energía presentan una variación en el tiempo, además los costos son recargados al final del pago de la planilla eléctrica como impuestos finales[23][24]. La respuesta a la demanda eléctrica puede ser interpretada como un beneficio económico dependiendo del grado de implementación dentro del usuario, dichos beneficios se mencionan a continuación:

Beneficios hacia los clientes:

- Económicos
- Confiabilidad en el sistema
- Incentivos

Beneficios hacia mercado eléctrico:

- Reducción en costos de generación, transmisión y distribución.
- Infraestructura más robusta y confiable.
- Disminución del consumo en horas pico.

Beneficios hacia sistema eléctrico:

- Balance entre el consumo y demanda.
- Eliminación de la congestión de la red eléctrica.
- Reducción de pérdidas de energía del sistema eléctrico

Beneficios Ambientales:

- Creación de mercados minoristas con energías renovables.
- Disminución de emisión de CO2 al ecosistema por uso de plantas térmicas.
- Intervención de clientes en la eficiencia energética.

El programa de respuesta a la demanda es diseñado con el fin de bajar el consumo de la demanda eléctrica en las horas que existe un gran consumo para no afectar a todo el sistema eléctrico de un país, a continuación, muestra los programas que son aplicados:

2.1 Programas de respuesta a la demanda

La demanda eléctrica en un cliente es variante debido a varios factores que rodean al usuario, los mismos pueden ser el número de usuarios, equipos instalados, uso de equipos de baja eficiencia u obsoletos, condiciones de usos diario y las estaciones climatológicas del año. Se mencionan dos tipos de programas para la respuesta a la demanda, dichos programas pueden ser acogidos por cada usuario dependiendo el tipo de carga que manejan y sus actividades diarias[25], para ello el usuario y la empresa distribuidora llegan a un acuerdo bajo un contrato firmado en el cual se muestra las condiciones de uso de la energía, a continuación se muestra los diferentes acuerdos:

2.1.1 Respuesta a la demanda por incentivos

Aplicar el programa por incentivo es reducir el consumo eléctrico de un usuario en un determinado momento y trasladar parte de su demanda a horarios en donde el consumo no es pico, para ello se establece una tarifa horaria en las horas consideradas pico, el incentivo que tendrán los usuarios al alinearse a este plan es tener un descuento al momento del pago de la planilla eléctrica, acreditación de un monto por el ahorro en las horas pico dependiendo de los KWh ahorrados, puede tener alternativas para participar de la respuesta a la demanda por incentivos los cuales pueden clasificarse como los siguientes[26]:

Oferta de Demanda: El cliente llega a un acuerdo con la empresa distribuidora a saber la cantidad de equipos que desconectara, el horario y la relación con respecto a la demanda base del sistema de esa manera se fija el costo por KWh.

Interrupciones del Sistema: El usuario debe estar en las posibilidades de no depender de su demanda cuando exista una contingencia por una interrupción en el sistema eléctrico, esta desconexión se la realizará una vez que la empresa distribuidora notifique el corte de la carga de cliente de forma remota y por el tiempo que considere necesario. Si el cliente no está de acuerdo con el requerimiento puede enfrentar penalizaciones por no respetar el contrato.

Emergencias: Este tipo de programas y acciones se realiza solo en condiciones de emergencia, es decir la empresa distribuidora comunica al cliente directamente de un evento directo que puede presentarse por un corte programado en el transcurso de un día, semana o mes y el tiempo que

durará dicha desconexión, con el fin que el usuario tenga alternativas y tome las medidas del caso ya que será un corte y estará de acuerdo de manera voluntaria, para este caso no hay penalizaciones.

Control Directo de la carga: La empresa distribuidora realiza la desconexión remota de las cargas de los usuarios muchas veces con poco tiempo de notificación del evento, en este caso mucha de las veces es por temas de confiabilidad en horas que existe mayor demanda en el sistema.

2.1.2 Respuesta a la demanda por precios

Para el caso de la demanda eléctrica mediante precios, esta no ofrece incentivos ni penalidades a los usuarios cuando no se cumple las condiciones al momento de firmar un contrato entre ambas partes, más bien lo que se realiza es manejar una curva de la demanda eléctrica a través de esquemas, definiciones y metodología que sean capaces de fijar las tarifas consecutivamente con el fin de que los clientes puedan realizar una programación en su demanda y pueda tomar acciones en base al precio en el que se establezca en esos momentos, para ello existen algunas alternativas que se mencionan a continuación[27]:

Precio por tiempo de uso: El cliente y el distribuidor fijan un precio por la energía que se consume acorde al periodo de uso en el día, dicho costo es un promedio del costo de generación y la distribución, el valor que se obtiene es menor al costo real que se tiene en el mercado mayorista.

Precio por transmisión en pico de demanda: El uso de esta alternativa es reducir el consumo por el uso del sistema de transmisión en el horario de demanda pico, para ello el cliente y la

empresa distribuidora llegan a un acuerdo y fijan un precio con la intención de reducir los costos por la transmisión de energía.

3. Continuidad del servicio eléctrico y gestión dentro de los edificios

Actualmente el planeta tierra se encuentra en una fase crítica con el tema del calentamiento global, dicho evento es mayormente producido por la emisión de gases de invernadero que son emitidos directamente por las centrales térmicas y además del funcionamiento de equipos eléctricos obsoletos que han cumplido su vida útil pero siguen funcionando dentro de las instalaciones del usuario, en el caso de las centrales térmicas entran en funcionamiento como respaldo al sistema eléctrico para mantener una confiabilidad en el sistema y sobre todo tener excelente calidad en el servicio eléctrico hacia el consumidor, por ello tales sistemas se ven obligados a mantenerse conectados ya que se produce una gran demanda en el servicio por parte de los usuarios de un sector determinado en los horarios de demanda pico, por lo que actualmente existen proyectos para de alguna manera mitigar el calentamiento global, uno de ellos es manejar eficientemente el uso del consumo eléctrico dentro de las instalaciones del usuario, mediante el traslado de cargas eléctricas no representativas a otros horarios de menor consumo, adicional a ello el usuario puede menorar la cantidad de equipos obsoletos que demandan un mayor consumo eléctrico[28][29].

La implementación de sistemas energéticos eficientes permite al usuario realizar una supervisión y control directa sobre las cargas eléctricas[30][31][32]. Las empresas distribuidoras deben estar en

capacidad de mantener un índice de cobertura de la demanda en horas consideradas pico, la cual muchas de las veces son cubiertas por centrales de generación térmica. Esto implica que las instalaciones de generación, redes de transporte y distribución, requieran cubrir los picos de demanda y horas valles para dar el mejor servicio al usuario con confiabilidad en el sistema.

El resto del tiempo las centrales térmicas están sin funcionar y muchas de las veces no producen energía solo hasta cuándo deben cubrir las horas punta de consumo, por lo que dichas centrales consumen importantes recursos en operación y mantenimiento. El uso de redes de mediciones inteligentes en la actualidad desde su aparición se ha robustecido cada día, ya que con la tecnología y sistemas que son presentados cada año lo hacen una parte importante para el control energético automatizado en cada una de las partes de un sistema eléctrico ya sean en la parte de (Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización), ofreciendo calidad y sostenibilidad de un sistema eléctrico[33][34].

Una de estas alternativas son los AMI (INFRAESTRUCTURA DE MEDICION AVANAZADA)[35], esta tecnología aplicada en usuarios comerciales puede actualmente ser manejada como una forma viable en su construcción e implementación de nuevos sistemas para la gestión energética con el objetivo de disminuir el consumo eléctrico, debido a que por encontrarse hoy en día con una alta tasa en el consumo energético, generado por el uso de los equipos electricos sean estos con cargas inductivas o resistivas que manejan en las zonas comerciales tales como equipos de ventilación, extracción e iluminación, por lo que en mucho de

los casos existe una influencia en el pago final de la planilla eléctrica mes a mes que en muchos de los casos pueden ser elevados por fallos de equipos o por problemas en su factor de potencia[36][37][38]. Un sistema AMI se centra en optimizar los recursos con propósitos en reducir el costo laboral, mediciones, adquisición y precisión en datos reales proporcionados por nuestro sistema, al manejar un sistema AMI facilitara y ayudara a reducir los costos en la construcción y supervisión de sistemas tradicionales de medición de la energía dentro de un usuario comercial, por lo que se maneja directamente al cliente interno al momento que existe un problema energético que pueda observarse un consumo elevado sobre algún equipo y realizar el corte del mismo mediante supervisores internos[39][40][41]. Para tal infraestructura AMI se debe evaluar la implementación de medidores y equipos capaces de medir nuestro consumo y puedan controlar las cargas en un determinado tiempo, que para este estudio es en las horas pico y nos permitan tomar acciones dependiendo del equipo. En la Figura 2 se muestra como actúa el AMI dentro de un usuario.

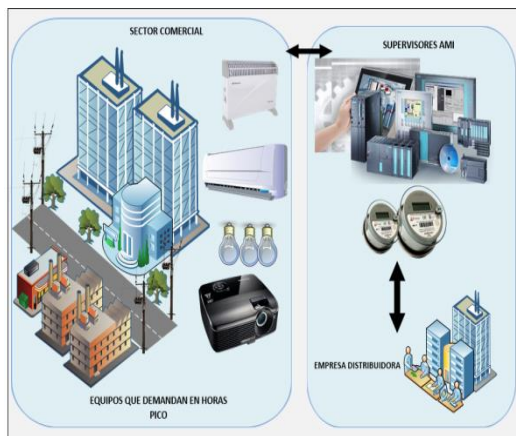


Figura 2. Supervisión AMI y control de carga usuario comercial

Actualmente implementar el sistema AMI representa una gran inversión

para el cliente y mucho más si es comercial, ya que debe ver el costo del beneficio y el tiempo en que se recuperará la inversión, es por ello que como opción en este artículo se centra en minimizar el consumo eléctrico trasladando las cargas que no sean representativas del usuario mediante un reglamento de respuesta a la demanda basada en el uso de cargas y el control de los circuitos eléctricos[42].

4. Optimización Multiobjetivo

Cuando existen varios objetivos o variables es complicado conocer directamente el resultado o predicción, para ello se utiliza la optimización multiobjetivo[43][44]. La optimización multiobjetivo se basa en técnicas heurísticas que resuelven varios tipos de problemas de grado n , lo que permite adecuar un cierto número de elementos dentro de las funciones multiobjetivo con el fin de entregar una solución óptima, la misma que se denomina como el valor óptimo para una función de objetivo inicial[45][46].

La función multiobjetivo indica el funcionamiento de una medida cuantitativa en la cual va a minimizar o maximizar posteriormente dependiendo del problema que se plante, como característica utiliza dos o mas funciones objetivo en una misma solución, utilizando las funciones restantes como restricciones generales[47][48].

Las restricciones son las variables que deben ser cumplidas obligatoriamente para satisfacer la optimización del problema propuesto. Las variables vienen a ser independientes y son representadas por cada modelo que se utilice, dichas variables son importantes para la decisión de una función objetivo y su representación. la optimización multiobjetivo (FO) se

encuentra expresado de la siguiente manera:

$$FO = \left\{ \begin{array}{l} \min F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \\ \text{s. a} \\ x \in X \end{array} \right\} \quad (1)$$

En donde;

FO= optimización multiobjetivo

F(x)= vector objetivo

x=(x1,x2,...,xn) vectores de variables de decisión

X= espacio soluciones factible, se define con un conjunto de restricciones

fi(x)= valor de soluciones posibles

n ≥ 2 numero funciones objetivo

Para el análisis y ejecución planteado en el artículo, lo realiza mediante el programa de incentivos con el control directo de la carga de esta manera realiza la optimización de la respuesta a la demanda de un usuario comercial, y con ello tener alternativas y sobretodo ver un ahorro en el pago de la planilla eléctrica teniendo a consideración el uso de alternativas que permitan controlar el consumo energético, una de ellas sería el uso de controladores automatizados y sistemas de gestión energéticos dentro del usuario comercial, los mismos que sean capaces de entregar la información en tiempo real, controlables y entendibles hacia el usuario.

A continuación en la Figura 3 se observa el comportamiento de la demanda eléctrica en un determinado día y horario que conforma el usuario comercial, el mismo se caracteriza por dar sus servicios en el área financiera, los datos son un ejemplo de lo que será optimizado si se controla las cargas que no son representativas, en la gráfica se observa que la curva presenta un incremento, el mismo que

puede ser por el encendido simultaneo de equipos eléctricos, aires acondicionados, uso de ascensores, escaleras eléctricas, bombas de agua potable y servidas, equipos de computo e iluminación, lo que produce una gran demanda en el horario intermedio es decir desde las 10:00 hasta las 15:30, pese a ello hay intervalos pequeños en donde existe un bajo consumo eléctrico que coincide con los horarios de almuerzo o breaks que maneja el personal que trabaja dentro del usuario comercial.

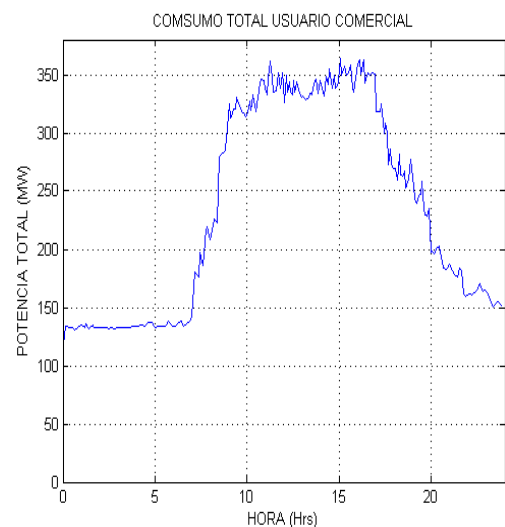


Figura 3. Consumo Eléctrico Usuario Comercial

La iluminación, Aires Acondicionados y servicios generales son las cargas más representativas manejando una línea de tendencia en los horarios de las 11:00 hasta las 14:00, esto se debe a que el usuario utilizado como muestra, utiliza en ese horario el encendido de equipos de aires acondicionados, iluminación, ascensores para movilización de trabajadores y visitantes en el edificio, bombeo de agua potable y transporte de aguas servidas por los pisos que conforma el usuario, uso de sala de capacitaciones, auditorio, sala de reuniones en los pisos, etc.

En la Figura 4 se muestra la demanda que mantiene el arranque de los

equipos mencionados, si bien es cierto dicha demanda al ser general puede ser controlada mediante el arranque escalonado o el seccionamiento de la carga, estas cargas (Iluminación, Aires Acondicionados y Servicios Generales) serán consideradas como cargas trasladables es decir que podrán ser utilizadas para ser minimizadas y tener una optimización de dichas cargas.

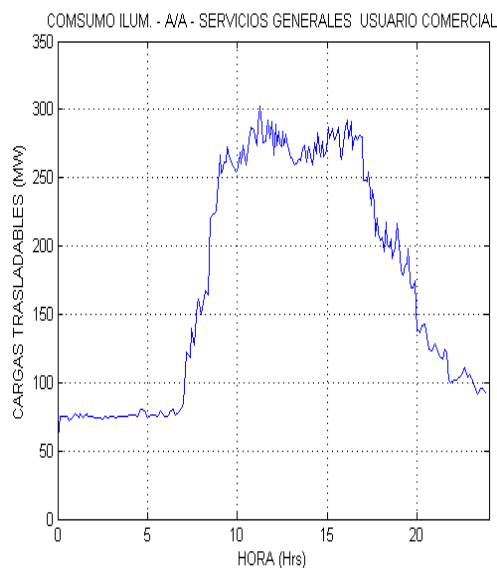


Figura 4. Cargas trasladables, medición 24hrs

En el modelo de optimización en la respuesta a la demanda eléctrica que es implementada para el caso de estudio, considera que no todo dato es factible minimizar debido a la gran cantidad de equipos y que todos los días no existe la misma demanda eléctrica en diferentes áreas de los usuarios comerciales, considerando que el consumo que realiza los fines de semana es menor al consumo realizado en días laborables y de atención.

En la Figura 5 se observa las cargas que en el artículo serán consideradas como cargas no trasladables, ya que este tipo de cargas pertenecen a un selecto grupo de equipos de computo, UPS de respaldo, servidores de data center, equipos de seguridad electrónica y control de accesos de

todo el edificio, dichas cargas para el usuario comercial son cargas sensibles y no pueden ser apagadas ni trasladadas a otro horario, ya que en la mayoría de tiempo su consumo es constante, por ello estas cargas son de uso diario y son parte en la atención hacia su cliente, trabajo y funcionamiento de las instalaciones durante las 24 hrs del día en todo el año.

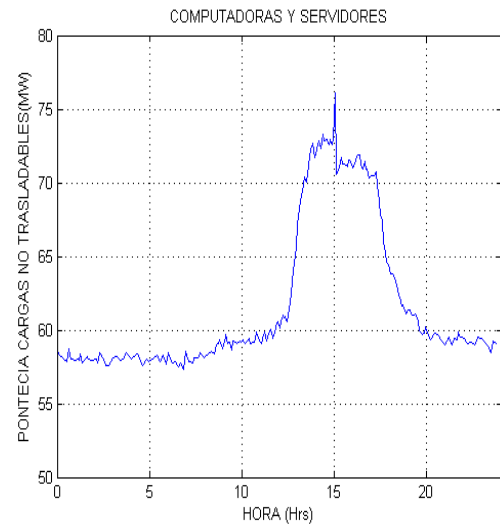


Figura 5. Cargas no trasladables

La principal acción de las predicciones y proyecciones se convierte en un proceso sistemático, el mismo que permite deducir el comportamiento del consumo de carga de un usuario en particular, con la finalidad de obtener un ahorro energético o tener variables de funcionamiento, teniendo en cuenta los factores disponibles dentro del usuario, si dicho esquema permite tener confiabilidad y es amigable dentro de los parámetros para la respuesta a la demanda puede ser aplicado directamente al control de las cargas y con ello tener un ahorro energético mientras sea aplicado dicho sistema. Cada cliente tiene diferente comportamiento en su demanda, es por ello que usar modelos matemáticos llevaría a tener una predicción con tendencia al futuro, utilizando valores anteriores del consumo eléctrico.

5. Formulación del problema

Como se menciona a inicios de este documento el punto clave en la respuesta a la demanda es realizar una optimización del consumo eléctrico en el tiempo de mayor demanda, el propósito del artículo es analizar una optimización multiobjetivo de la respuesta a la demanda eléctrica minimizando el uso de equipos y teniendo un control directo para su encendido o controlando las cargas directamente por el usuario con sistemas automatizados, para ello se necesita obtener datos en tiempo real con el fin de saber que cargas controlar y que redireccionar de mejor manera, las cargas que no son representativas pueden ser controladas automáticamente por el usuario en el horario de mayor demanda, la otra optimización se realizará en la minimización del costo por el pago de la planilla eléctrica trasladando cargas no representativas a horarios de menor consumo.

Es importante saber los valores de costo por KWh que se manejan y las horas con mayor consumo a fin de realizar el análisis y obtener los valores reales del consumo con el fin de obtener un resultado del uso eléctrico acorde al suministro demandado, dependiendo los valores de cobro que tienen en cada país puesto que son diferentes para cada usuario ya sea residencial, comercial o industrial, como resumen se puede indicar que una optimización se interpreta como una resolución de un problema planteado partiendo de variables iniciales y restricciones dando como resultado encontrar el valor de una variable óptima satisfaciendo el conjunto de restricciones que nos genera dicho sistema.

Existen varios tipos de métodos predictivos que permiten realizar una optimización de la demanda eléctrica,

dichos métodos acercan a valores futuros basados en una data previamente obtenida del usuario acorde a las secciones anteriores donde se indica tal funcionamiento, en muchos de los casos puede utilizar modelos matemáticos que usan series en el tiempo, modelos de regresión, cadenas estadísticas o modelos heurísticos, para el caso de estudio dentro del artículo se centra en utilizar un modelo heurístico, que permita determinar una solución partiendo de datos obtenidos previamente del usuario comercial con el fin de realizar una minimización del consumo eléctrico considerando alternativas para disminuir las cargas eléctricas en las horas pico.

6. Optimización

Para realizar una optimización se debe tener presente el tipo de restricciones y variables del sistema que va a ser estudiado en este caso, un sistema multiobjetivo y con ello empezar a ver los datos de consumo del usuario comercial en los horarios que fueron tomados. Para el usuario comercial las cargas que no pueden ser trasladables a otro horario son cargas reguladas que representa (equipos de computo, UPS de respaldo y servidores de data center, equipos de seguridad electrónica y control de accesos) que en el documento corresponde a las cargas de UPS PISOS y UPS SERVIDORES y serán consideradas como CARGAS NO TRASLADABLES en una forma general de interpretación. La potencia de consumo de Iluminación, Aires Acondicionados y Servicios Generales representa las CARGAS TRASLADABLES que serán ingresadas en las funciones multiobjetivos para jugar dentro de las restricciones y variables y ver como varían en el tiempo, estas cargas serán las minimizadas y serán las principales

cargas que ayudaran a reducir el consumo eléctrico dentro del usuario en general. El comportamiento de la demanda del usuario comercial en un día de medición se indica en la Figura 6 con el porcentaje de participación de las cargas trasladables y no trasladables:

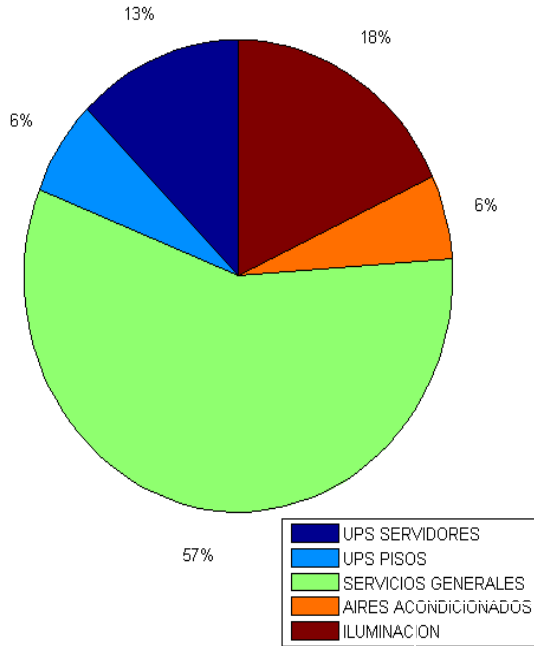


Figura 6. Porcentaje consumo Usuario Comercial

En la siguiente tabla 1 se muestra el resumen de las cargas medidas del usuario comercial en 1 día normal de funcionamiento en sus instalaciones.

Tabla 1. Resumen Datos Usuario Comercial

DATOS	Min [KW]	Max [KW]	Total [KW]	Costo [€]
Potencia total	115,21	363,42	49815,68	454,83
P. Cargas Trasladable	56,62	302,05	37419,96	335,77
P. cargas no trasladable	57,36	76,07	12146,95	119,06
UPS_s	48,36	50,26	9611,25	95,1
UPS_p	9	26	2535,7	23,96
Sg	29,65	195,22	23344,78	204,12
b	6,76	34,45	4270,37	39,32
a	20,06	72,68	9977,51	92,33

Los datos de la tabla 1 son datos en [kW] y el costo en [kWh], en la tabla de referencia Ptot, es el dato a considerar y tener mucho en cuenta, ya que es la Potencia total del consumo del usuario en un día, el costo que mantiene el usuario comercial libre de impuestos y recargos administrativos esta dentro de los \$400 a \$460 diarios. La optimización de las cargas trasladables estarán sujetas a la siguientes funciones multiobjetivo, las mismas realizarán la minimización del costo por cada carga mencionada anteriormente, adicional a ello existirá una maximización general para el uso de equipos que utiliza el usuario y sera controlado mediante un sistema automatizado de control de cargas, adicional a ello existira como propuesta el uso de normativas dentro de las instalaciones del usuario comercial. A continuación se encuentran las funciones multiobjetivo a ser utilizadas:

$$FM01 = \min \left(\sum_j a_{ij} * U_{ij} \right) \quad (1)$$

$$FM02 = \min \left(\sum_j b_{ij} * U_{ij} \right) \quad (2)$$

$$FM03 = \min \left(\sum_j Sg_{ij} * U_{ij} \right) \quad (3)$$

Sujeto a:

$$f_i \geq 1; \quad \forall i \in I \quad (4)$$

Donde:

$$f_i = \sum_{j \in I} a_j * U_{ij} + \sum_{j \in I} b_j * U_{ij} + \sum_{j \in I} Sg_j * U_{ij} + \sum_j upsS_{ij} * U_{ij} + \sum_j upsP_{ij} * U_{ij} \quad (5)$$

$$\forall i \in I$$

En Donde:

a_j es el vector general del consumo de iluminacion en un determinado tiempo y costo.

b_j es el vector general del consumo de aires acondicionados en un determinado tiempo y costo.

Sg_j es el vector general del consumo de los servicios generales en un determinado tiempo y costo.

U_j es el costo que genera la operación en un determiando tiempo.

$upsS_j$ son las cargas no trasladables de energia regulada de los servidores en determinado tiempo y costo.

$upsP_j$ son las cargas no trasladables de energia regulada de los equipos de computo de los pisos que conforma el usuario.

i son los intervalos del sistema horario en el que se encuentra operando todo el sistema eléctrico lectura 24 horas.

Para la funciones multiobjetivo planteadas se utilizará las siguientes restricciones:

$$\sum_j upsS_{ij} = Pot. UPSS \left(\sum_j upsS_{ij} \right) \quad (6)$$

$$\sum_j upsP_{ij} = Pot. UPSP \left(\sum_j upsP_{ij} \right) \quad (7)$$

En las ecuaciones (6) y (7) se define de la siguiente manera con el fin de restringir el movimiento de las cargas no trasladables, comom se mencionó no deben sufrir variación ya que son cargas importantes en el sistema y no pueden trasladarse ni apagarse

$$\sum_j a_j \geq P.min \left(\sum_j a_{ij} \right) \quad (8)$$

$$\sum_j b_j \geq P.min \left(\sum_j b_{ij} \right) \quad (9)$$

$$\sum_j Sg_j \geq P.min \left(\sum_j Sg_{ij} \right) \quad (10)$$

$$\sum_j PCt_j \leq \sum_{j \in I} a_j + \sum_{j \in I} b_j + \sum_{j \in I} Sg_j \quad (11)$$

En donde :

$Pot. UPSS$ y $Pot. UPSP$ son la potencia de carga de usos de UPSP y UPSS dentro del rango medible.

i son los intervalos de muestra de las cargas para este caso se tiene datos iguales a 197, obtenidos de la medición del sistema.

$P.min$ en las ecuaciones (8), (9) y (10) es la potencia mínima de carga de uso, tanto para iluminación, aires acondicionados y servicios generales respectivamente dentro del rango medible. Para la ecuación (11) PCt indica que es la carga total de las potencia de cargas tralsadables debe se menor a la sumatoria de ls cargas de iluminación, aires acondicionados y servicios generales. Una vez definido las restricciones se debe realizar un resumen del funcionamiento y es expresado en un seudocódigo que interpreta el desenvolvimiento de resolución.

Tabla 2. Pseudocódigo Optimización Multiobjetivo para la respuesta a la demanda

Algoritmo: Optimización Multiobjetivo

Paso1: Inicio

Paso2: Inicialización de valores

U : Inicializa el costo por KWh

i : Conjunto de datos medidos

Pt : Potencia Total para i

Pct : Cargas Trasladales para i

$Pcnt$: Cargas No Trasladales para i

Paso3: Crea Variable

para cada $a, b, Sg \in Pt$ entonces:

$a \rightarrow$ inicializa a , $a \in Pct$

$b \rightarrow$ inicializa b , $b \in Pct$

$Sg \rightarrow$ inicializa Sg , $Sg \in Pct$

$UPS_s \rightarrow$ inicializa UPS_s , UPS_s

$\in Pcnt$

$UPS_s \rightarrow$ inicializa UPS_p , UPS_p

$\in Pcnt$

Paso4: Desarrollo

Cálculo de funciones multiobjetivo utilizando los valores de restricciones del evento para las cargas trasladables entonces:

$$FO1 = \min(\text{Sum}(a) * U * i)$$

$$FO2 = \min(\text{Sum}(b) * U * i)$$

$$FO3 = \min(\text{Sum}(Sg) * U * i)$$

Paso5: Resultados

Visualización de las gráficas comparativas de minimización del consumo eléctrico para con una solución óptima para iluminación, aires acondicionados y servicios generales utilizando programación no lineal en Gams.

Paso6: Fin

7. Resultados

La tabla 3 muestra los resultados de la minimización ejecutada con los datos obtenidos del usuario comercial dentro de un día laboral aleatorio de medición, considerando los valores de consumo inicial versus los datos minimizados se observa que hay un ahorro energético del 19%, dicho porcentaje minimizado para un usuario comercial que maneja un pago excesivo en su planilla eléctrica se convierte en un gran ahorro siempre y cuando se aplique la minización sobre las cargas trasladables.

Tabla 3. Tabla de resultados finales

DATOS	VALORES REALES		VALORES MINIMIZADOS	
	Total [KW]	Costo [\$]	Total [KW]	Costo [\$]
Ptot	49815,68	454,83	41072,57	364,92
Pct	37419,96	335,77	28808,75	245,87
Pcnt	12146,95	119,06	12146,95	119,06
UPS_s	9611,25	95,1	9611,25	95,1
UPS_p	2535,7	23,96	2535,7	23,96
Sg	23344,78	204,12	19758,25	166,93
b	4270,37	39,32	629,66	4,84
a	9977,51	92,33	8420,84	74,1
TOT. OPTIMIZADO EN [\$]				88,2
% TOT. OPTIMIZADO EN [\$]				19%

En el caso de la iluminación, el control de dichas cargas debe ser directo en el encendido o apagado, dependiendo de la cantidad de iluminación existente en los horarios de trabajo del usuario, dicho control debe ser mediante el uso de sistemas de automatización y sensores, si hay ventanales que reflejen la luz directa del sol en áreas como oficinas o pasillos, dichas cargas deben ser apagadas para aprovechar la luz natural.

La Figura 7 indica la minimización de las cargas de iluminación con una diferencia en los valores de mayor consumo en la curva de la demanda inicial, se observa que la curva minimizada tiende a reducirse en horarios que el usuario no utiliza dichas cargas.

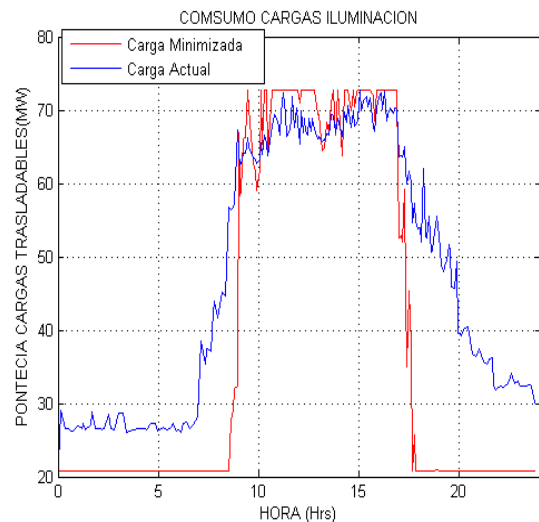


Figura 7. Consumo Iluminación

Para el caso de las cargas que representan los servicios generales en los datos obtenidos, se observa que existe una minimización en las horas de menor uso de los equipos y aparatos eléctricos y electrónicos. Dichas cargas se mantienen encendidas pese a que no estén trabajando al 100%. La Figura 8 muestra la minimización que fue ejecutada para las cargas de servicios generales.

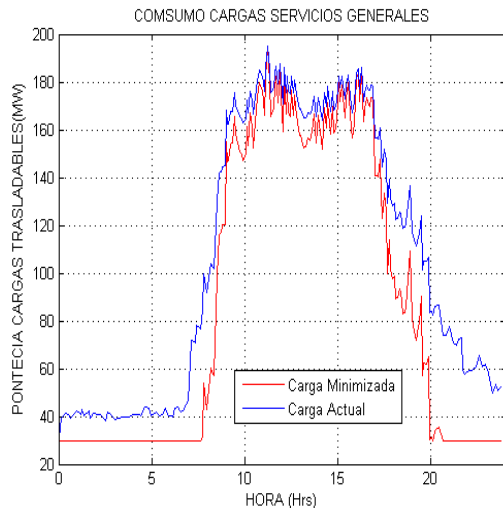


Figura 8. Consumo Servicios Generales

En el caso de las cargas de aire acondicionado se observa que hay una minimización de consumo eléctrico en los horarios de menor uso, en donde el personal no se encuentra trabajando, dicho horario es el horario nocturno y de madrugada, en la Figura 9 se muestra la diferencia entre las cargas reales y las carga al momento de tener una minimización.

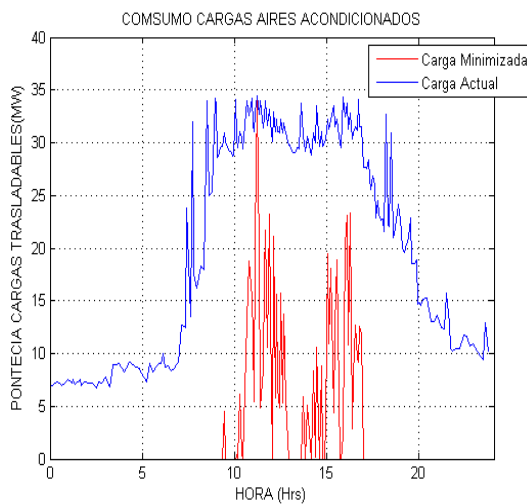


Figura 9. Consumo Aires Acondicionados

Como resultado general, el control directo de las cargas eléctricas le permite al usuario tener un ahorro del 19% en el pago de la planilla final acorde a lo mencionado en la tabla 2, para ello en el sistema adecua el uso de las cargas dentro del usuario y en muchos de los casos dichas cargas son

apagadas, considerando que dichas cargas pueden ser trasladables o pueden salir de funcionamiento en un determinado tiempo de uso.

El usuario comercial deberá controlar los aires acondicionados en los horarios de la noche y madrugada, adicional a ello encenderlos escalonadamente, en la parte de la iluminación el ahorro será al controlar el uso de luminarias en áreas en donde no se encuentren trabajando y con ello obtener también un ahorro, de la misma manera puede controlar el encendido de ascensores y escaleras eléctricas en la noche.

El usuario comercial de ahora en adelante con los datos obtenidos puede realizar la elección de cómo utilizar sus recursos sin afectar la atención de los clientes y de sus trabajadores. A continuación en la Figura 10 se aprecia la minimización de dichas cargas trasladables en un modo general.

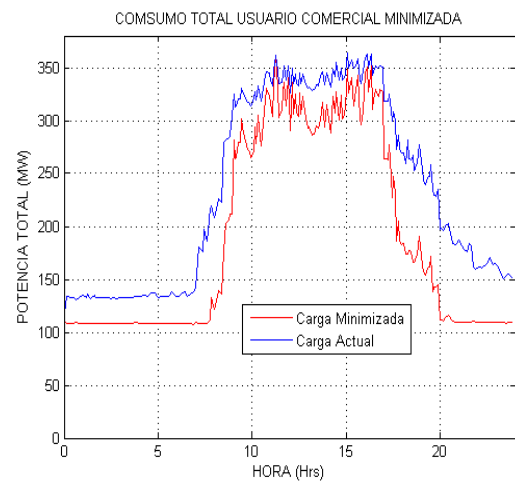


Figura 10. Consumo Cargas Trasladables

Conclusiones

El uso correcto de la respuesta a la demanda eléctrica juega un papel clave en las decisiones de un usuario comercial y más cuando la misma utiliza métodos heurísticos para la minimización del consumo que es el objetivo del artículo. Si el usuario implementa una normativa interna de

uso de las instalaciones y equipos como opción adicional a los datos ya minimizados, dicha normativa se aplica al apagar la iluminación de salas de reuniones, oficinas y auditorios que no estén siendo utilizados en los horarios que labora el usuario, al apagar la mayor cantidad de ascensores, escaleras, iluminación de gradas en el horario en que no existe gran cantidad de clientes y usuarios puede bajar el consumo eléctrico a un 15% adicional al valor ya minimizado, el porcentaje es referencial puesto que dependerá del uso de las instalaciones y del control automático que implemente el usuario, adicional a ello ingresa el tema humano que es aportar al cuidado del medio ambiente por poco que sea la intervención, al ahorrar en el consumo energético ayuda a que no se genere emisiones de CO₂ que emiten de las centrales térmicas al momento de su arranque y funcionamiento, además aporta en disminuir los costos generales en las construcciones de nuevas centrales y el reforzamiento las líneas de transmisión.

Referencias

- [1] F. Munteanu, C. Nemes, M. Atudori, and L. Galca, "Reliability model to estimate power quality and reliability of supply," *2013 12th Int. Conf. Environ. Electr. Eng.*, pp. 94–99, May 2013.
- [2] M. Al-muhaini, S. Member, G. T. Heydt, and L. Fellow, "A Novel Method for Evaluating Future Power Distribution System Reliability," vol. 28, no. 3, pp. 3018–3027, 2013.
- [3] W. Shi, S. Member, N. Li, and X. Xie, "Optimal Residential Demand Response in Distribution Networks," vol. 32, no. 7, pp. 1441–1450, 2014.
- [4] E. M. Garcia, "Diagnostico de la demanda de consumo de energia electrica en un smart home, enfocado en el sector residencial de quito, durante el ano 2015, barrio la kennedy. Caracterizacion y optimizacion del consumo de energia electrica," Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2016.
- [5] P. T. Fracasso, F. S. Barnes, and A. H. R. Costa, "Energy cost optimization in water distribution systems using Markov Decision Processes," *2013 Int. Green Comput. Conf. Proc.*, pp. 1–6, Jun. 2013.
- [6] J.-H. Heo, G.-P. Park, Y. T. Yoon, J. K. Park, and S.-S. Lee, "Optimal maintenance strategies for transmission systems using the Genetic Algorithm," *Ieee Pes T&D 2010*, pp. 1–6, 2010.
- [7] E. Garcia and I. Isaac, "Demand response systems for integrating energy storage batteries for residential users," *Ecuador Tech. Chapters Meet. (ETCM), IEEE*, 2016.
- [8] S. M. S. Basnet, H. Aburub, and W. Jewell, "Effect of Demand Response on Residential Energy Efficiency with Direct Load Control and Dynamic Price Control," 2011.
- [9] Z. Wang, S. Member, R. Paranjape, and Z. Chen, "RESIDENTIAL DEMAND RESPONSE : AN OVERVIEW OF RECENT SIMULATION AND MODELING APPLICATIONS," 2013.
- [10] B. Q. Khanh, "Analysis of DSM's impacts on electric energy loss in distribution system using VPI model," *2011 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–8, 2011.

- [11] B. Chakrabarti, D. Bullen, C. Edwards, and C. Callaghan, "Demand response in the New Zealand Electricity market," *Pes T&D 2012*, pp. 1–7, 2012.
- [12] U. Bariss, A. Dandens, and D. Blumberga, "Smart meters as enablers for feedback information induced energy efficiency and demand response," 2015.
- [13] E. Inga and R. Hincapié, "Optimal Deployment of Cellular Networks for Advanced Measurement Infrastructure in Smart Grid," *Commun. Comput. (COLCOM), 2014 IEEE Colomb. Conf.*, 2014.
- [14] H. Lu, M. Zhang, Z. Fei, and S. Member, "Multi-Objective Energy Consumption Scheduling in Smart Grid Based on Tchebycheff Decomposition," pp. 1–15, 2015.
- [15] S. Salinas, M. Li, and P. Li, "Multi-Objective Optimal Energy Consumption Scheduling in Smart Grids," vol. 4, no. 1, pp. 341–348, 2013.
- [16] E. M. Garcia, A. Águila, I. Isaac, J. W. González, and G. López, "Analysis of Voltage Profile to determine Energy Demand using Monte Carlos algorithms and Markov Chains (MCMC)," *51st Int. Univ. Power Eng. Conf.*, no. Mcmc, 2016.
- [17] V. Zoiss, M. Frincu, and V. Prasanna, "Integrated platform for automated sustainable demand response in smart grids," in *2014 IEEE International Workshop on Intelligent Energy Systems (IWIES)*, 2014, pp. 64–69.
- [18] D. He, J. Mei, R. Harley, and T. Habeter, "Utilizing building-level demand response in frequency regulation of actual microgrids," *Industrial Electronics Society, IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE*. pp. 2205–2210, 2013.
- [19] T. Logenthiran, D. Srinivasan, and T. Z. Shun, "Demand side management in smart grid using heuristic optimization," Logenthiran, T., Srinivasan, D., & Shun, T. Z. (2012). Demand side management in smart grid using heuristic optimization. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(3), 1244–1252. <http://doi.org/10.1109/SmartGrid.2012.1244-1252>, 2012.
- [20] M. Gupta and S. Gupta, "A Strategic Perspective of Development of Advanced Metering Infrastructure Based Demand Side Management (DSM) Model for Residential End User," *2014 IEEE Int. Conf. Power Electron. Drives Energy Syst.*, 2014.
- [21] C. V. B. V. Enersul, P. Smart, G. Latin, and A. Forum, "How to bring the costumers to cooperate with Utilities on Smart Grid implementations," pp. 1–6, 2011.
- [22] M. Muratori and G. Rizzoni, "Residential Demand Response: Dynamic Energy Management and Time-Varying Electricity Pricing," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. PP, no. 99, pp. 1–10, 2015.
- [23] S. Mohagheghi and N. Raji, "Managing industrial energy intelligently: Demand response scheme," *IEEE Ind. Appl. Mag.*, vol. 20, no. December, pp. 53–62, 2014.

- [24] S. Mohagheghi and N. Raji, "Intelligent demand response scheme for energy management of industrial systems," *2012 IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet.*, pp. 1–9, 2012.
- [25] M. H. Albadi, "A summary of demand response in electricity markets," vol. 78, pp. 1989–1996, 2008.
- [26] S. Li, K. Deng, and M. C. Zhou, "Social incentive policies to engage commercial building occupants in demand response," *IEEE Int. Conf. Autom. Sci. Eng.*, vol. 2014–Janua, pp. 407–412, 2014.
- [27] P. Faria and Z. Vale, "Demand response programs definition using demand price elasticity to define consumers aggregation for an improved remuneration structure," *2013 4th IEEE/PES Innov. Smart Grid Technol. Eur. ISGT Eur. 2013*, vol. 2011, pp. 1–5, 2013.
- [28] P. Moreno and E. M. Garcia, "Respuesta a la Demanda para Smart Home Utilizando Procesos Estocasticos," *I+D Tecnológico*, 2016.
- [29] B. Oña and E. M. Garcia, "Uso eficiente del consumo de energia electrica residencial basado en el metodo Montecarlo," Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [30] C. Science, "Dynamic Demand Response Solution for Industrial Customers," pp. 1–9, 2013.
- [31] S. A. Raziei and H. Mohscnian-Had, "Optimal demand response capacity of automatic lighting control," *2013 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. ISGT 2013*, pp. 1–6, 2013.
- [32] V. S. K. V Harish, "Planning and implementation strategy of Demand Side Management in India," *First Int. Conf. Autom. Control. Energy Syst.*, 2014.
- [33] Y. Ozturk, P. Jha, S. Kumar, and G. Lee, "A personalized home energy management system for residential demand response," in *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, 2013, pp. 1241–1246.
- [34] L. Zhang, J. Zhao, X. Han, and L. Niu, "Day-ahead generation scheduling with demand response," in *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*, 2005, vol. 2005, pp. 1–4.
- [35] R. R. Mohassel, A. Fung, F. Mohammadi, and K. Raahemifar, "Application of Advanced Metering Infrastructure in Smart Grids," *Control Autom. (MED), 2014 22nd Mediterr. Conf.*, pp. 822–828, 2014.
- [36] Zhuang Zhao; Won Cheol Lee; Yoan Shin; Kyung-Bin Song, "An Optimal Power Scheduling Method for Demand Response in Home Energy Management System," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, 2013.
- [37] S. S. S. R. Depuru, L. Wang, and V. Devabhaktuni, "Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 6, pp. 2736–2742, Aug. 2011.
- [38] E. Shwedyk, "Communication receivers based on Markov models of the fading channel," vol. 44, no. 1.
- [39] E. Inga Ortega, "Redes de Comunicación en Smart Grid," *Ingenius*, vol. 7, no. Revista de Ciencia y Tecnología, pp. 36–

- 55, 2012.
- [40] L. Martirano, S. Fornari, A. Di Giorgio, and F. Liberati, “A case study of a commercial/residential microgrid integrating cogeneration and electrical local users,” *12th Int. Conf. Environ. Electr. Eng. IEEEIC 2013*, pp. 363–368, 2013.
- [41] T. T. Erbato and T. Hartkopf, “Smarter Micro Grid for Energy Solution to Rural Ethiopia,” pp. 1–7.
- [42] D. Tasinchana and E. M. Garcia, “Prediccion con series de tiempo para la optimizacion de la demanda electrica residencial,” Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [43] G. Ayala and E. M. Garcia, “Respuesta de la demanda electrica basado en el modelo Markoviano,” Universidad Politecnica Salesiana, 2016.
- [44] M. Ortiz and E. M. Garcia, “Pronostico de la demanda electrica residencial basado en el modelo de regresion adaptativa multivariante spline (MARS),” Universidad Politecnica Salesiana, 2015.
- [45] W. Fan, N. Liu, and J. Zhang, “Multi-objective optimization model for energy mangement of household micro-grids participating in demand response,” *Proc. 2015 IEEE Innov. Smart Grid Technol. - Asia, ISGT ASIA 2015*, no. 2014, 2016.
- [46] E. Inga, D. Carrión, A. Aguila, E. M. Garcia, and R. Hincapié, “Minimal Deployment and Routing Geographic of PMUs on Electrical Power System based on MST Algorithm,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 5, pp. 2264–2270, 2016.
- [47] L. Barragan and E. M. Garcia, “Modelo multiobjetivo de planificación de transmision bajo incertidumbre basado en una optima respuesta de la demanda,” Universidad Politecnica Salesiana, 2016.
- [48] M. Simbaña and E. M. Garcia, “Optimizacion mediante el metodo de Montecarlo de la demanda electrica residencial,” Universidad Politecnica Salesiana, 2015.