

Mejoramiento del factor de carga de la red eléctrica a partir de modulaciones de carga e infraestructura de medición avanzada

Premio CIER de Innovación: Ing. José Vicente Camargo Hernández

Categoría DESCENTRALIZACIÓN

Autores

Autores: Daniel Aquino, Eder Paredes, Pauline Ocampos, Alberto Santacruz, Walter Furler, Carlos Caceres Casañas
Asesoría Técnica, Gerencia Técnica, Compañía de Luz y Fuerza S.A. (CLYFSA) - Villarrica Paraguay

Palabras clave — Palabras claves: smart grid, redes eléctricas inteligentes, respuesta a la demanda.

Resumen

Resumen: Los programas de mejoramiento del factor de carga han ganado un papel fundamental en los últimos años debido a la creciente necesidad de contar con un red eléctrica eficiente y sostenible; para poder contar con este tipo de redes es necesario migrar a redes eléctricas inteligentes, provistas de sensores, actuadores en campo y de comunicación bidireccional. Este trabajo tiene por objetivo realizar la implementación y evaluación de un proyecto piloto de control directo de carga (modulación de carga) mediante el uso de medidores inteligentes, softwares para la gestión de información, herramientas para el pronóstico de demanda de energía, controladores lógicos programables (PLCs) y relés.

1. Introducción

El objetivo de la gestión de la energía eléctrica es optimizar la producción, distribución y consumo de energía eléctrica de manera eficiente y sostenible. La gestión de la energía eléctrica se enfoca en minimizar los costos, mejorar la eficiencia energética, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y garantizar un suministro de energía eléctrica confiable, existe vasta experiencia optimizando la generación y distribución, pero es el lado de la demanda aquello que tiene la atención de los investigadores y la industria en los últimos años

Una de las herramientas existentes para la optimización de la gestión de la energía del lado de la demanda es conocida como respuesta a la demanda (DR). La respuesta a la demanda de energía, también conocida como Demand Response en inglés, es una estrategia utilizada para gestionar el consumo de energía eléctrica durante los períodos de mayor demanda. Esta estrategia implica ajustar el consumo de energía en respuesta a los cambios en el precio de la electricidad u otros incentivos proporcionados por la compañía eléctrica [1] La respuesta a la demanda de energía es un componente crítico de la transición a un sistema energético más flexible y sostenible. Permite que los consumidores jueguen un papel activo en la gestión de su consumo de energía y ayuda a crear una red eléctrica más confiable y eficiente. Los programas DR suelen ofrecer incentivos financieros u otras recompensas a los consumidores por reducir su consumo de energía durante los períodos de alta demanda. Esto puede lograrse mediante una variedad de métodos, como apagar equipos (control de carga directo) o desplazar el consumo de energía a las horas de menor demanda. [2]

El factor de carga se define como la razón entre la potencia media y la potencia máxima disponible en

un mismo periodo de tiempo definido. Con esto nos indica una medida de la utilización o de la eficiencia del uso de la energía. Un factor de carga alto indica que las instalaciones eléctricas se están utilizando de manera eficiente. Un factor de carga unitario representa el uso del 100% de la capacidad disponible. factor de carga unitario representa el uso del 100% de la capacidad disponible.

Las smart grids, o redes eléctricas inteligentes, utilizan tecnología avanzada que interconecta datos de campos y respuesta por parte del operador mediante comunicación bidireccional. Las smart grids juegan un rol fundamental para gestionar el suministro y la demanda de energía de manera más eficiente y en tiempo real. Estas redes pueden ayudar a mejorar el factor de carga al optimizar la distribución de redes pueden ayudar a mejorar el factor de carga al optimizar la distribución de energía y coordinar la respuesta a la demanda. La compañía de Luz y Fuerza SA (CLYFSA) lleva ya 6 años implementando la utilización de medidores inteligentes en las redes de energía lo que conlleva a la posibilidad de explorar nuevas funcionalidades para la optimización de la gestión de la energía.

El mejoramiento del factor de carga, la respuesta a la demanda y el mejoramiento del factor de carga, la respuesta a la demanda y las smart grids están estrechamente relacionados y trabajan juntos para mejorar la eficiencia energética, estrechamente relacionados y trabajan juntos para mejorar la eficiencia energética, reducir los costos y asegurar un suministro de energía eléctrica más confiable y reducir los costos y asegurar un suministro de energía eléctrica más confiable y sostenible. Este trabajo presenta el caso piloto de implementación de un control de carga directo (modulación de carga), utilizando una red eléctrica inteligente para lograr optimizar el factor de carga.

2. Infraestructura de Medición Avanzada

Actualmente se presentan grandes desafíos y problemas emergentes a nivel mundial en los sistemas eléctricos de potencia, de los cuales podemos mencionar el mejoramiento de la calidad y fiabilidad de suministro, el crecimiento acelerado de la demanda, la inserción a la red de fuentes renovables y fluctuantes de energía como la solar y la eólica, la necesidad de mejorar la eficiencia energética debido al fuerte impacto ambiental que produce la utilización de fuentes de energía contaminantes, entre otros. Es por ello, que hay una tendencia de transformar las redes eléctricas de potencia convencionales y evolucionarlas hacia redes eléctricas inteligentes y más sofisticadas, esto quiere decir en primera instancia, implementar tecnologías avanzadas de comunicación y automatización, que

permitan optimizar los procesos de operación, planificación y comercialización de las empresas involucradas dentro del sistema eléctrico.

Con respecto a lo anterior, AMI, que significa Infraestructura de Medición Avanzada por sus siglas en inglés (Advanced Metering Infrastructure), es uno de los sistemas que ofrece dicha transición tecnológica. Básicamente consiste en un sistema de medición inteligente, que realiza lecturas de parámetros de consumo en tiempo real, de forma automática, por medio de un medidor inteligente instalado dentro del predio del consumidor, y que transmite de forma bidireccional estos datos de medición, a través de una red de comunicaciones, a una central de operaciones donde se gestionan y se analiza dichos datos por medio de un software [3] Este sistema brinda información de consumo organizada y de alto nivel, que permite a los operarios de la red mejorar y optimizar sus procesos e interactuar con los clientes.

Beneficios de la implementación de AMI

- Mayor exactitud y confiabilidad en el registro de sus consumos.
- Mayor calidad de l servicio a través de la vigilancia automática de las condiciones de la tensión y la continuidad del suministro.
- Lectura automática y remota de la medición del
- Consumo sin acudir al domicilio.
- Detección automática de fallas en el suministro y atención más oportuna para su restablecimiento.
- Reconexión inmediata del suministro de energía eléctrica por falta de pago al realizar el mismo.

- Facilidad en la verificación visual de consumos en el medidor.
- Información precisa acerca del consumo de energía, sus patrones de uso para poder controlarlos y administrarlos.
- Ciclos de facturación flexibles, proporcionando una variedad de opciones de tarifas basadas en el
- Tiempo de uso (TOU: Time of use, es decir precios de tarifas en rangos horarios)
- Creación de perfiles de energía del cliente para apuntar a los programas de eficiencia energética y respuesta a la demanda.

3. Implementación de AMI en CLYFSA

La Compañía de Luz y Fuerza SA (CLYFSA) viene invirtiendo los últimos 5 años de manera constante en distintos niveles y áreas de implementación que son los siguientes:

3.1 Medición Inteligente en Puestos de Distribución de Media Tensión Públicos y Privados

Denominado como PEMICR (Puesto de Medición Inteligente con Compensación Reactiva) es un tablero eléctrico diseñado en base a la norma IEC 61439 1 y IEC 61439 2, montado de acuerdo a la IEEE Std 516 , que consta de un medidor inteligente junto con su sistema de comunicación, compensadores de potencia reactiva y elementos eléctricos de protección como se

observa en las **Figuras 1 y Figura 2**. Son instalados en los Puestos de Distribución de Energía Públicos y Privados y actualmente se tienen instalados en el 10 0% de los Puestos de Distribución de la Ciudad de Villarrica . Estos Puestos de Medición Inteligente envían lecturas de variables eléctricas cada 15 minutos hasta el Meter Data Management (MDM) el cual gestiona y valida esta información su base de datos.

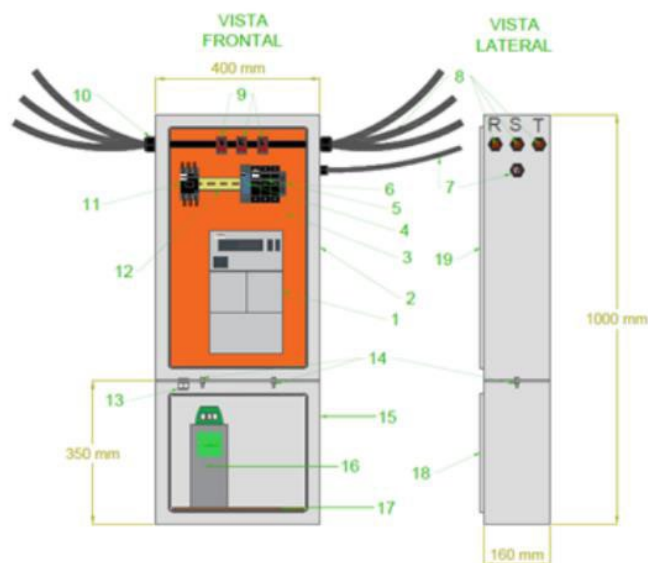


Figura 1. Esquema topográfico del PEMICR y elementos que lo componen.

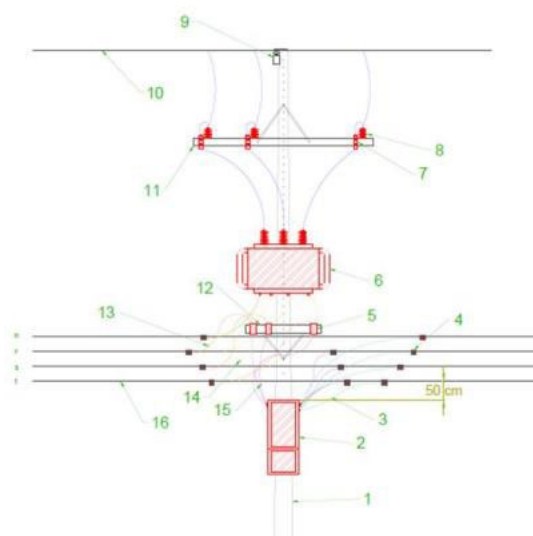


Figura 2. Ubicación del PEMICR en el Puesto de Distribución Público.

3.2 Medición Inteligente en Usuarios de Baja Tensión de Gran Consumo

Las aplicaciones para las Infraestructuras de Medición Avanzada abarcan todos los niveles de tensión en los que CLYFSA se encuentra actualmente operando: AT, MT, BT. Tal es así que la primera gran apuesta para la instalación de medidores inteligentes a usuarios en Baja Tensión fue dirigida a usuarios trifásicos con mayor actividad de consumo de energía. Al cierre del 2022, casi el 30% de los usuarios trifásicos en BT ya contaba con medidores inteligentes instalados; a su vez, más del 10% del parque de medidores en total con todas las categorías de usuarios ya era también compuesto por medidores inteligentes.

3.3 Gabinetes con múltiples medidores residenciales y comerciales

Otra interesante aplicación de medición inteligente en Baja Tensión consiste en la instalación de replicadores de puertos de comunicación entre los medidores y el software de gestión de los mismos, vía comunicación remota. Para el efecto, se instalaron equipos concentradores de conexiones, que funcionan de la siguiente manera: en un mismo complejo habitacional existen varios medidores y a veces hasta varios tipos de medidores. Para no recurrir a cambiar todos estos equipos por medidores inteligentes, los mismos son conectados por medio de protocolos de transmisiones físicas de señales (RS485) a un equipo que posee capacidad de transmisión inalámbrica de datos (GSM) a la principal plataforma de gestión de medidores inteligentes. Con esto se logra reducir los costos de instalación y recambio de equipos tradicionales por inteligentes, y además se incurre en la reducción de costos operativos para la lectura de consumo de energía a usuarios y la eventual costos operativos para la lectura de consumo de energía a usuarios y la eventual

descarga de esos datos de forma manual a las bases de datos de descarga de esos datos de forma manual a las bases de datos de CLYFSA. CLYFSA.

Mediante este conjunto de niveles de medición inteligente implementados y la diante este conjunto de niveles de medición inteligente implementados y la adquisición de datos se pudo establecer ubicaciones optimas a la red principal de adquisición de datos se pudo establecer ubicaciones optimas a la red principal de energía, disponibilidad en transformación, disponibilidad en líneas eléctricas de medienergía, disponibilidad en transformación, disponibilidad en líneas eléctricas de media a tensión y franjas horarios en que era posible realizar el control directo de carga tensión y franjas horarios en que era posible realizar el control directo de carga (modulación).(modulación).

4. Modulación de Carga

Para realizar un control de carga directo (modulación de carga) es necesario la implementación actuadores de campo, sensores para la adquisición de datos (medidores inteligentes, como se detalló en la sección anterior) y un centro de operación de red.

El centro de operación de red es el “centro de comando” desde donde se activan, monitorean y administran todos los despachos de modulación de carga. El centro de operaciones debe anticipar la necesidad de soporte por parte del cliente que se haya dentro de programa de modulación de carga, para ello es necesario el pronóstico de la demanda de energía prevista.

Existen múltiples metodologías existente para el pronóstico de la demanda de energía según el horizonte de tiempo (corto, mediano, largo), técnicas matemáticas (series de tiempo, distribución de probabilidad, etc c.c.), inteligencia artificial, micro áreas, etc [4].

Uno de las metodologías de mayor utilización para ello, y de más sencilla aplicación, el cual utilizamos como primera aproximación para este proyecto piloto, es el de los modelos de regresión lineal múltiple.

Un modelo de regresión lineal múltiple es una técnica estadística utilizada para analizar la relación entre una variable dependiente y múltiples variables independientes. En este tipo de modelo, se busca establecer una relación lineal entre la variable de interés y las variables predictoras para predecir o estimar el valor de la variable dependiente.

En el caso del pronóstico de demanda de energía, un modelo de regresión lineal múltiple se puede utilizar para predecir la demanda futura de energía, en este contexto, la variable dependiente sería la demanda de energía y las variables independientes pueden incluir factores como la temperatura, la humedad, la hora del día, el día de la semana, la estación del año, el crecimiento demográfico, el PIB, entre otros.

Para la realización del pronóstico de demanda utilizando esta metodología se tomó como datos de entrada los siguientes parámetros:

- Histórico de demanda de energía (5 años)
- Histórico de temperatura en la ciudad (1 año)
- Histórico de humedad en la ciudad (1 año)
- Pronóstico de temperatura (15 días)
- Pronóstico de humedad (15 días)

Para los datos de origen atmosférico, y aumentar el grado de precisión de este valor, se instaló una estación meteorológica propia de la compañía, con una tasa de

muestreo de 4 lecturas por hora. También se adquirió el software asociado a este producto para poder generar los pronósticos meteorológicos necesarios.



Figura 3. Estación Meteorológica de CLYFSA.

Con los datos ingresados, se obtiene un pronóstico de la demanda de los próximos 15 días. Estos resultados

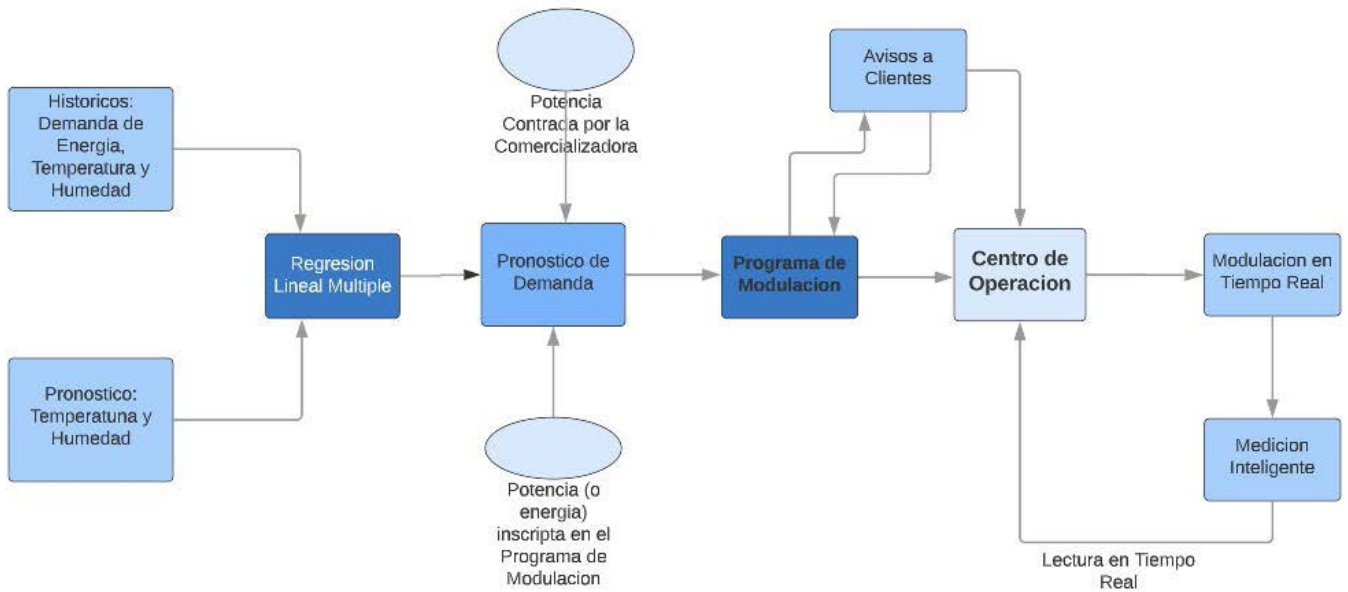


Figura 4. Flujograma del proceso de Modulación de Carga.

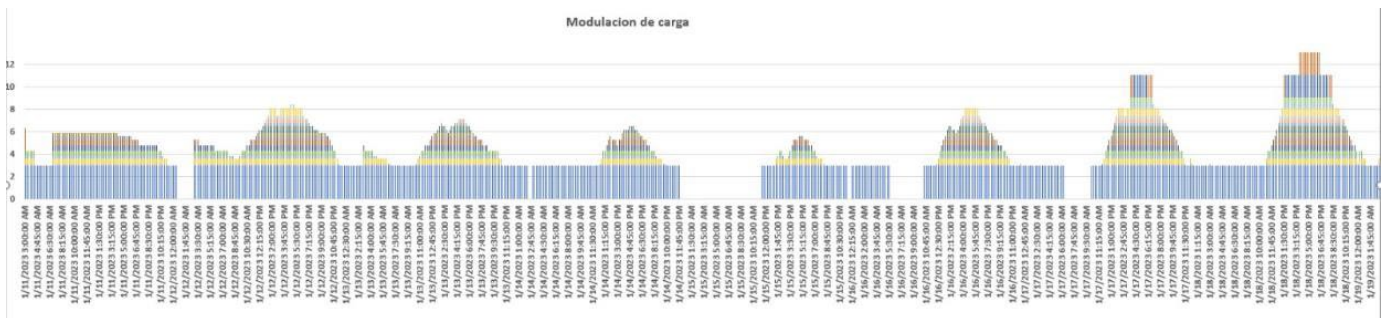


Figura 5. Programa Quincenal de Modulación de Carga.

se cruzan con los valores de potencia contratada por la comercializadora en el mes, y el valor de potencia (o energía) que cada uno de los clientes tiene dentro del programa de modulación de carga, correspondiente al mes de ejecución. Esto da como resultado la operación prevista de modulación de carga de los próximos 15 días, es decir, las horas y duraciones de la modulación de carga que será necesario realizar para

cada uno de los clientes, este resultado se denomina “programa quincenal de modulación”.

Este programa quincenal de modulación es enviado a cada uno de los clientes participantes del programa, de manera que estos pueden estar preparados en los horarios indicados con el grado de participación que se requiere para las próximas semanas. Esto permite

que los clientes pueden anticipar sus costos operativos y comerciales, así como los recursos necesarios.

Para la ejecución de la modulación de carga, el operador de la red anticipa la necesidad de soporte, envía una señal por teléfono, correo electrónico o SMS a los clientes participantes de l programa informándoles que está por iniciar la operación Una vez que el cliente recibe y reconoce la notificación de envío, la operación está lista para ejecutarse.

Cada cliente cuenta con un “sistema de modulación inteligente” el cual consiste de un Controlado Lógico Programable (PLC), un medidor inteligente y un sistema de comunicación.

El PLC se utiliza para recibir y enviar señales eléctricas para controlar los dispositivos eléctricos del cliente a través de relés propios del cliente, y tienen una comunicación directa con el centro de operación mediante Fibra Óptica . Los medidores inteligentes constan de comunicación por GMS/GPRS y cumple las funciones verificar en tiempo real si los objetivos de reducción se están cumpliendo de acuerdo a los valor es previstos.

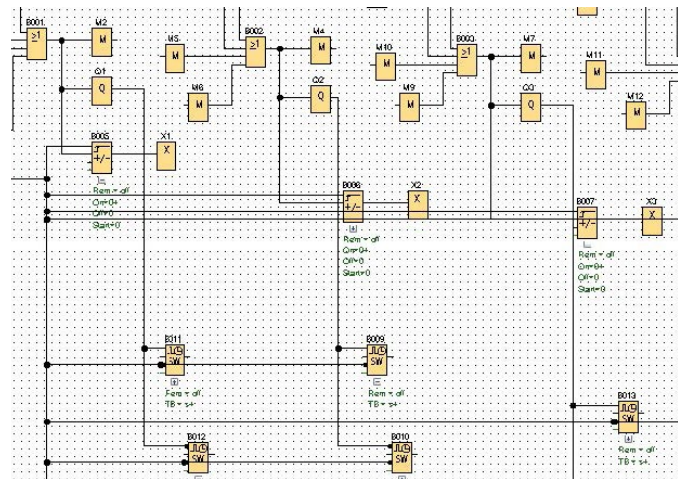


Figura 6. Diagrama de Bloques del PLC.



Figura 7. Sistema de Modulación Inteligente.

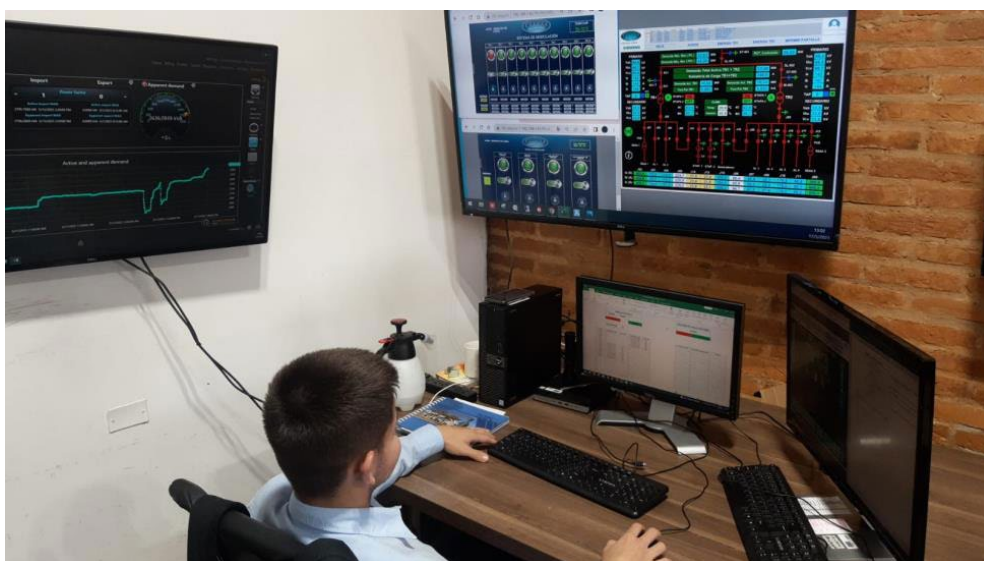


Figura 8. Centro de Comando.

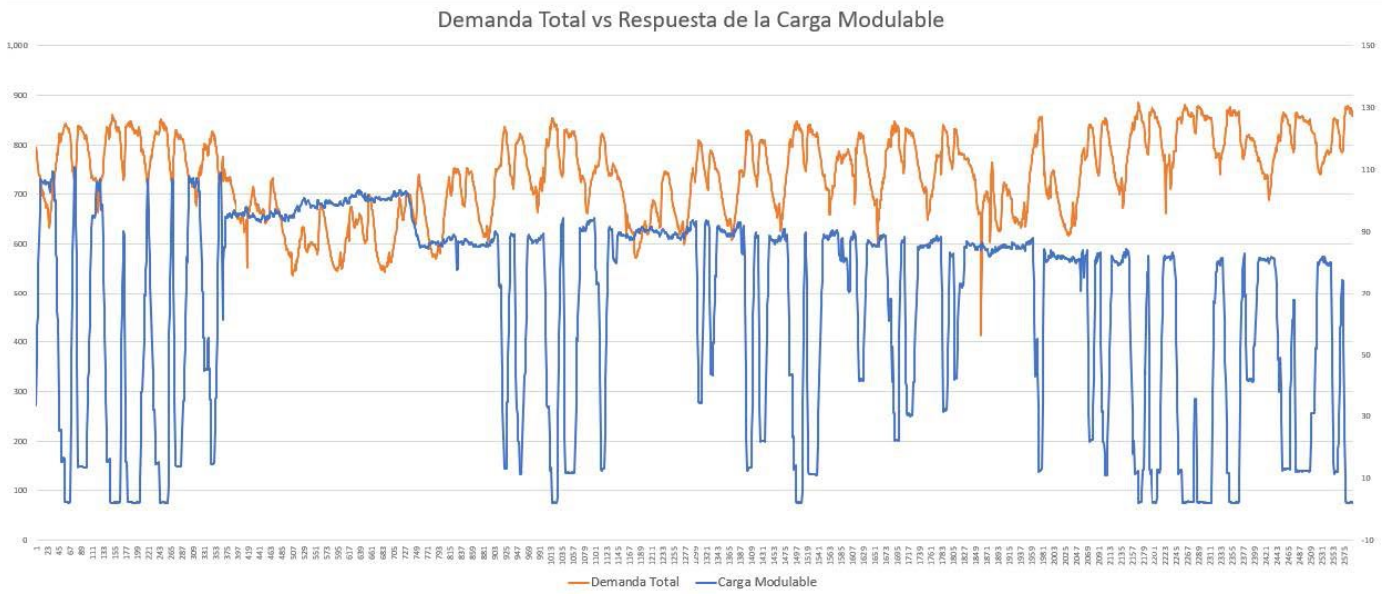


Figura 9. Demanda Total vs Respuesta de la Carga Modulable.

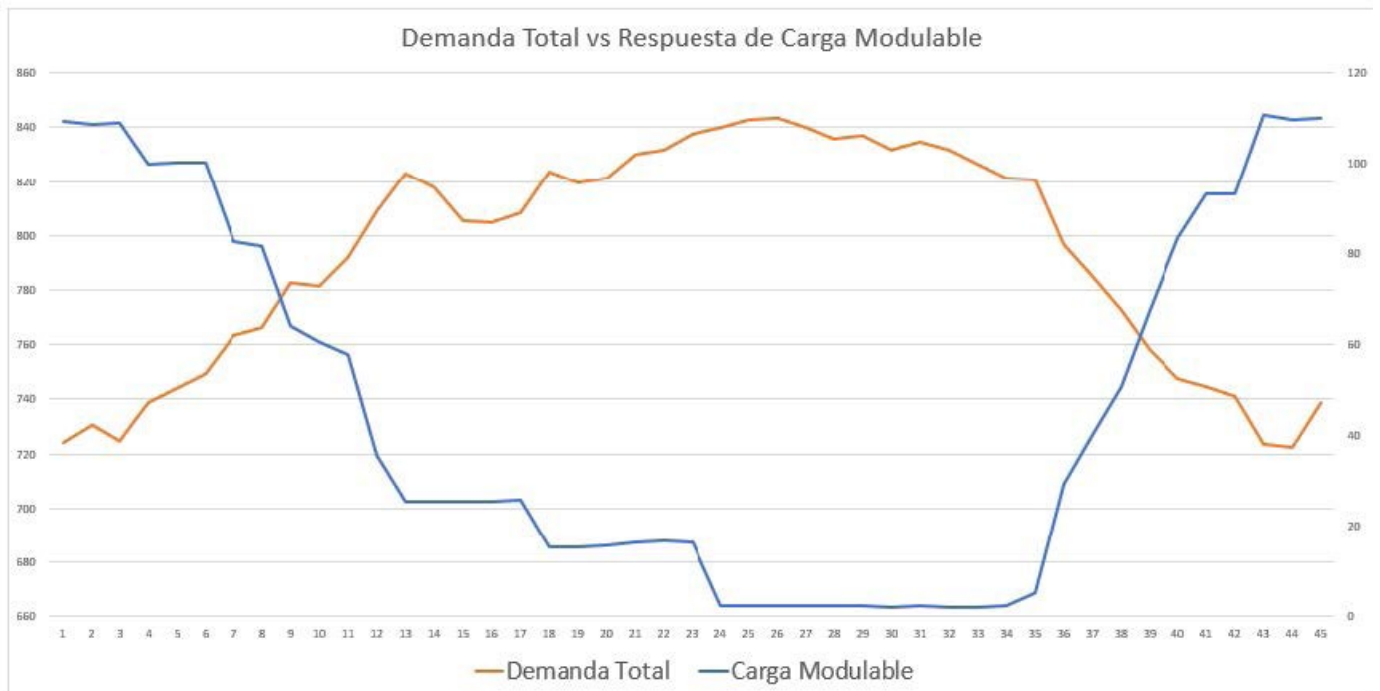


Figura 10. Demanda Total vs Respuesta de la Carga Modulable.

5. Resultados y discusión

En la **Figura 9**, se observa que en momentos en donde la Demanda Total esta en aumento, es necesario un mayor grado de modulación de carga y viceversa, en momentos en donde la Demanda es menor, y por ende hay mayor disponibilidad de potencia en todos los niveles, la carga modulable puede asumir la totalidad de su valor. Es importante mencionar que ambas variables están en distintos ordenes de magnitud pero se utilizan escalas distintas para poder visualizar en mejor detalle la operación en conjunta y coordinada.

Haciendo zoom a un evento en específico de modulación, **Figura 10**, se puede observar que la carga opera de manera gradual (en etapas) conforme la demanda va aumentando o disminuyendo (o la disponibilidad).

6. Referencias

- [1] Zhang, Y., Wu, L., & He, Y. (2017). Demand response in smart grid: Recent developments and challenges. *Energies*, 10(3), 299.
- [2] Liu, Y., Kirschen, D. S., & Shahidehpour, M. (2012). Demand response in electricity markets: An overview and perspectives. *Electric Power Systems Research*, 84, 1-16.
- [3] Grainger, J. J., & Stevenson Jr, W. D. (2017). *Power System Analysis* (3rd ed.). McGraw Hill Education.
- [4] Benedetti, M.; Sanabria, M. (2020). Implementación de una Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) y Compensación Reactiva en puestos de distribución de energía eléctrica.
- [5] Laboratory, N. E. (Jun,2010). Understanding the Benefits of the Smart Grids. U.S. Department of Energy.
- [6] CLYFSA (2022), Memoria y Balance 2022.
- [7] Huang, Y. F., & Sun, J. Q. (2013). *Smart grid: Fundamentals of design and analysis*. John Wiley & Sons.
- [8] Hong, T., Fan, S., & Zhang, R. (2014). A Comprehensive Survey of Power Load Forecasting Techniques: Existing Methods and Emerging Trends. *Energies*, 7(12), 8220-8257.