

Tesis en opción al título académico de
Máster en Eficiencia Energética

Título

**Módulo para el diagnóstico
energético del sistema
de monitoreo
XYMA - AMR ELECTRICITY**

Autor

Ing. Aldo Vega Pousada

Tutores

Dr. C. Julio R. Gómez Sarduy

Dr. C. Vladimir Sousa Santos

Declaración de autoría

Por este medio doy a conocer que soy el único autor de este trabajo y autorizo a la Universidad Carlos Rafael Rodríguez de Cienfuegos, al Ministerio del Interior y a la empresa DATYS a que hagan del mismo el uso que estimen pertinente.

Autor:

Aldo Vega Pousada

Tutor:

Dr. C. Vladimir Sousa Santos

Dr. C. Julio R. Gómez Sarduy

“Lo que no se define no se puede medir, lo que no se mide no se puede analizar, lo que no se analiza nunca mejora, y si no se mejora irremediablemente se degrada.”

Lord Kelvin



Dedicatoria

A muchas personas queridas está dedicada esta Tesis de Maestría, a muchas personas imprescindibles que han sabido confiar y que de infinitas maneras han demostrado apoyo, devoción, incondicionalidad y verdadero cariño.

Mi mayor agradecimiento se lo debo a mis padres, por apoyarme en todas las decisiones que he tomado a lo largo de la vida, hayan sido buenas o malas, y especialmente por quererme de manera tan incondicional. Ante padres tan especiales una dedicatoria, por sentida que sea, siempre se verá simplista. Por su esfuerzo y dedicación bien podrían aparecer como autores de este trabajo. Ojala lo disfruten y se sientan orgullosos, pues si estoy hoy en este paso de mi vida es gracias a su amor y su ejemplo. Muchas gracias pipo y mima.

A Neiky, mi novia y futura esposa. Gracias por todo lo que hemos vivido juntos antes y durante este tiempo y por todo lo que nos depara el futuro. Por darme el apoyo indispensable para que este trabajo llegara a buen puerto, estando incondicionalmente siempre a mi lado, en los buenos y malos momentos, animándome siempre a continuar. Gracias por todos los esfuerzos que has hecho, por transformar la tristeza en alegría, por hacer que a tu lado la soledad no exista y, principalmente, por hacerme feliz.

A Richard y Pili por ser los tíos más especiales que se pudiera desear. Gracias por estar siempre presente.

A mis primos, que ojala en algunos años sean ellos los que me incluyan en sus Tesis de Maestría.

A mis suegros por acogerme y quererme de la forma que lo hacen.

A Ginna, Zeta y Kike por ayudarme a seguir progresando en la vida demostrando así que existen personas que son capaces de querer sin esperar nada a cambio.

A todo gracias por hacer de mí una persona dichosa por contar con Ustedes.

Agradecimientos

Me siento satisfecho de poder expresar mi más profunda gratitud a todas aquellas personas que han brindado su cooperación desinteresada con el único objetivo de llevar a buen término este trabajo. No es hasta que se mira en retrospectiva el desarrollo de una tesis que uno se da cuenta de cuánto tiene que agradecer a tanta gente.

A todos los profesores del CEEMA que tan amablemente me acogieron. Gracias por siempre estar disponible y por ajustar su tiempo a cuanto imprevisto surgió durante el desarrollo de la maestría con el único objetivo de que este momento llegara. En especial al Dr. Félix González, coordinador de la maestría, por estar al tanto de todo y de todos. Es difícil encontrar un claustro de profesores tan profesionales y amables como los que tiene hoy la Universidad de Cienfuegos.

A mis dos tutores el Dr. C. Vladimir Sousa y el Dr. C. Julio R. Gómez por tener siempre la puerta abierta para resolver dudas, atender quejas y en general, solucionar todo tipo de problemas que han surgido en el desarrollo del trabajo. No solo han sido el mejor apoyo profesional que hubiera podido pedir, sino que demostraron estar en todo momento comprometidos con el objetivo de hacer de mi tesis un mejor trabajo. Sus consejos y enseñanzas fueron un aporte invaluable no solo al desarrollo de esta tesis, sino también a mi crecimiento como profesional.

A Victor, Caridad, Leoncio y Yulier por cada idea compartida generosamente conmigo y por el tiempo invertido para que esta tesis fuera lo que es hoy. A todos, más que mis compañeros de trabajo los considero mis amigos.

A aquellos que hicieron posible que durante dos años se llevaran a cabo los encuentros en Cienfuegos. En especial a Humberto y al Dr. Gordillo, que nunca dejaron que este proyecto se cayera aún y cuando parecía que era imposible continuar. Gracias por no cejar en el intento.

A todos mi eterno agradecimiento.

Resumen

Esta investigación presenta un Módulo de Diagnóstico Energético desarrollado con vistas a dotar al sistema informático de monitoreo XYMA. AMR-ELECTRICITY de una herramienta adicional, que permita realizar la gestión energética en una instalación.

En el primer capítulo se presentan las principales tendencias y características del desarrollo actual de los sistemas informáticos para la gestión de energía, así como las normas sobre ahorro de energía. Se exponen las necesidades del mercado actual y las funcionalidades que deben incorporar aquellos sistemas que se empleen para la gestión eficaz de los portadores energéticos.

En el segundo capítulo se establecen los análisis, formulaciones y características que incorpora el nuevo instrumento. Adicionalmente se describen sus potencialidades en la detección de problemas, así como en la sugerencia de soluciones a los mismos, para la gestión de la energía y la reducción del impacto ambiental de las empresas.

En el capítulo tres el sistema se evalúa en una edificación perteneciente a la empresa DATYS en La Habana. Como resultado de la aplicación se valora su estado energético concluyéndose que posee una incompetencia consciente en la gestión y que existen potencialidades para mejorar en este sentido. Se identifica como parámetro de producción las “Horas Totales Trabajadas en el mes”, (HTT_{mes}), estableciéndose un índice de consumo es $0,605 \text{ kWh}/HTT_{mes}$. En este caso de estudio se propuso un grupo de medidas organizativas y de buenas prácticas, así como de recontractación de la demanda máxima, que permitió en el primer trimestre del 2015, la reducción del consumo eléctrico en un 3,54% y de los costos en un 4,65% en relación a igual período de 2014. Estos resultados demuestran la factibilidad del uso de la herramienta propuesta desde el punto de vista técnico-económico para su uso en la gestión de la energía.

Summary

This research presents an Energy Diagnosis Module that has been developed to provide the XYMA AMR-ELECTRICITY Monitoring Computing System with an additional tool for energy management in a facility.

In the first chapter, you will find the main trends and characteristics of the current development of energy management computing systems, as well as standards for energy saving. Also set out are the requirements for today's market and the functions that should be incorporated into those systems used for an effective management of energy carriers.

In the second chapter, you will find the analyses, formulations and characteristics that the new tool incorporates. Additionally, there are descriptions of its potentialities for the detection of issues, as well as suggestions of solutions for these issues for the management of energy and the reduction of environmental impact.

In the third chapter, we show the results of the system evaluation. This was conducted in a building located in La Habana that belongs to DATYS company. As a result, it was concluded that the management at the facility is aware of the building's energy inefficiency and that there are potentialities to improve in this regard. "Total of Hours Worked Monthly" was identified as the production parameter and it was established that the consumption rate is 0,605 kWh/HTT_{month}. In this study case, several organizational and good practice measures were proposed, as well as the re-contracting of Top Demand, which allowed the reduction of energy consumption of 3,54% in the first quarter of 2015 and the reduction of costs of 4,65% in relation to the same period in 2014. These results show the feasibility for the use of the tool proposed from the technical-economic point of view for its use in energy management.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1 Marco teórico de la investigación	7
1.1 La gestión energética	7
1.1.1 Cómo realizar una gestión energética eficiente.....	7
1.2 La gestión energética en el contexto empresarial cubano	8
1.3 Diagnósticos energéticos o auditorías	9
1.3.1 Auditoría energética preliminar	10
1.3.2 Auditoría energética detallada	11
1.3.3 Auditoría energética de especialidad	11
1.3.4 Papel de la empresa en la auditoría.....	11
1.4 La gestión de energía según la Norma ISO 50001	12
1.5 Medidores inteligentes y las infraestructuras de medición avanzada.....	13
1.6 Software de gestión energética	15
1.6.1 El diagnóstico energético con el uso de software de gestión energética.	17
1.6.2 Software PowerStudio de la empresa CIRCUTOR.SA.....	18
1.6.3 Software PowerLogic ION Enterprise de la empresa Schneider Electric.....	19
1.6.4 Software XYMA. AMR-ELECTRICITY de la empresa Datys	20
1.7 Conclusiones parciales.....	23
Capítulo 2 Módulo para el Diagnóstico Energético	24
2.1 Bloque de caracterización energética de la instalación.....	24
2.1.1 Aspectos generales de la entidad	25
2.1.2 Caracterización de la gestión energética de la empresa	26
2.1.3 Relación entre los portadores energéticos	27
2.1.4 Herramientas para determinar los indicadores de desempeño energético	28
2.1.4.1 Gráfico de consumo y producción en el tiempo	29
2.1.4.2 Diagramas de dispersión y correlación	30
2.1.4.3 Gráfico de control	32
2.1.4.4 Diagrama de Índice de consumo vs producción.....	33
2.1.4.5 Gráfico de tendencia o de sumas acumulativas (CUSUM).....	34
2.1.5 Impacto ambiental de la empresa	35
2.2 Bloque de análisis de los datos de la UNE	38

2.2.1	Consumo mensual de la empresa	39
2.2.2	Tarifa eléctrica aplicada a la instalación.....	40
2.2.3	Consumo mensual por tarifa horaria.....	40
2.2.4	Esquema de distribución eléctrica	42
2.2.5	Análisis del estado del sistema de transformación.....	43
2.2.5.1	Análisis del estado del transformador exclusivo.....	44
2.2.6	Demanda Máxima Contratada	46
2.2.7	Medidas para mejorar el consumo de energía y reducir la demanda máxima.....	48
2.2.8	Análisis del Factor de Potencia.....	49
2.2.8.1	Cálculo del banco de capacitores y su factibilidad económica	50
2.3	Bloque de análisis de los datos del medidor inteligente.....	54
2.3.1	Potencias activa y reactiva	54
2.3.2	Demanda.....	55
2.3.3	Factor de potencia	57
2.3.4	Frecuencia.....	58
2.3.5	Energía activa y reactiva.....	60
2.3.6	Tensiones.....	61
2.3.7	Corrientes.....	64
2.3.8	Armónicos.....	67
2.4	Conclusiones parciales.....	69
Capítulo 3 Estudio de caso utilizando el Módulo de Diagnóstico Energético		70
3.1	Equipamiento utilizado en la instalación	70
3.2	Resultados del Bloque de caracterización energética de la instalación	71
3.3	Resultados del Bloque de análisis de los datos de la UNE	79
3.4	Resultados del Bloque de análisis de los datos del EM133	86
3.5	Análisis económico de la implantación del sistema	95
3.6	Análisis de los resultados	96
3.7	Conclusiones parciales.....	98
Conclusiones generales.....		99
Recomendaciones		100
Bibliografía.....		101
Anexos.....		107

Introducción

A partir de las últimas décadas del siglo XX, los mercados se han convertido en entornos globalizados altamente competitivos donde la eficiencia energética, el impacto ambiental y la competitividad pasaron de ser aspectos poco tratados a tener una primordial importancia. Esto se debió fundamentalmente a la fuerte competencia entre las empresas y a las regulaciones y acuerdos impulsados por los países con el fin de reducir la contaminación y el impacto ambiental. La posibilidad del éxito competitivo se había vinculado directamente a la habilidad de la empresa para explotar sus activos tangibles e intangibles al máximo, siendo más eficientes con el menor impacto ambiental.

Unido a esto, los estados se han visto obligados a tomar acciones debido a tendencias preocupantes en el comportamiento de la matriz energética mundial tales como [1]:

- El consumo energético en el mundo ha aumentado un 45% desde 1980. Para el 2030 está previsto que éste haya aumentado en un 70%.
- El contenido de CO₂ en la atmósfera ha aumentado en más de un 33% desde la revolución industrial, y actualmente su ritmo de crecimiento se está incrementando.
- Los mercados emergentes (incluidas China e India) constituyen más del 75% de la nueva demanda de recursos, estableciendo una fuerte presión a nivel mundial.

Para tratar de contrarrestar estas y otras realidades los estados han tomado medidas regulatorias para impulsar a las empresas a mejorar su gestión energética. El Protocolo de Kyoto fue el inicio del establecimiento de objetivos cuantitativos y de una agenda con respecto a la reducción de las emisiones de CO₂ con los compromisos claros de los gobiernos. La Unión Europea es un buen ejemplo de ello. En marzo de 2007 se marcó el objetivo conocido como el 3-20: reducción del 20% de CO₂, la mejora del 20% del nivel de eficiencia energética y la obtención del 20% de energía renovable antes de 2020 [2]. En Cuba, país firmante del protocolo de Kyoto, se establecieron en los Lineamientos del Partido Comunista de Cuba [3] los elementos que rigen las prioridades del desarrollo sostenible del país, específicamente en el Lineamiento 118; mientras que en el 247, se potencia el empleo de las fuentes renovables de energía y la reducción de las emisiones de CO₂.

El 17 de junio del 2011 comenzó un nuevo capítulo para la gestión de la energía cuando en Ginebra se da a conocer la norma internacional ISO 50001 [4], dada la baja eficiencia en el uso de los portadores energéticos y el alto nivel de contaminación ambiental por la generación de energía con combustible fósil. Dentro de la estructura de la ISO 50001 compuesta por 4 etapas fundamentales (Planificación, Implementación, Verificación y Actuación) en la etapa de Planificación, se hace imprescindible contar con un sistema de medición, análisis, monitoreo y control de desempeño energético. Esto se debe a que es la

manera más rápida, eficiente y altamente confiable de acceder a los registros históricos para obtener una línea base de comportamiento que permita la toma de decisiones en correspondencia con las condiciones actuales de la empresa [5] [6].

Esta situación en el ambiente de negocio hizo necesario que las empresas en todo el mundo requirieran una reducción permanente y efectiva de sus costos operativos, siendo el consumo de energía eléctrica uno de los de mayor impacto. Por ello se ha experimentado en los últimos años un desarrollo acelerado de sistemas para el monitoreo de todas las variables relacionadas con la energía eléctrica. Con ello se persigue realizar revisiones energéticas con un mayor nivel de información con las que se logren identificar mayores oportunidades de ahorro. Esto permitirá instaurar programas de mejora continua que incidan con mayor eficacia en la rentabilidad y competitividad de la entidad.

En el contexto cubano, hasta hace poco tiempo, existían regulaciones y una sensibilización acerca de la problemática energética, pero raramente se veían reales esfuerzos o resultados tangibles que mejoraran la situación de la eficiencia energética de las empresas. Con los cambios realizados por el Estado cubano para una mayor autonomía de las empresas, estas se han visto obligadas a tomar medidas para mejorar esta situación, como una manera de ser más auto gestionables, evitando tener que dedicar a los pagos energéticos sumas que pudieran destinarse a otros fines. Este contexto empresarial unido a la instauración en Cuba de la NC-ISO 50001:2011, hizo que se crease un mercado nacional creciente para sistemas informáticos que permitan conocer y analizar en todo momento el consumo energético a través de tablas, gráficos, histórico de consumo de los distintos parámetros eléctricos de la instalación, como un primer paso necesario para conseguir ahorrar energía y la instauración de dicha norma. El uso de sistemas que facilitan la identificación y cuantificación de todos aquellos aspectos significativos susceptibles de mejora se hacen cada vez más necesarios para lograr ciclos de mejoras sucesivas efectivos.

Existen sistemas informáticos para la gestión de la energía eléctrica en el mercado internacional que no solo se centran en la toma de datos a través de medidores inteligentes, sino que ofrecen la información obtenida de forma que facilita la realización de revisiones energéticas. Esta constituye una vía para incrementar la eficiencia energética en las empresas, de forma que el conocimiento detallado del sistema energético permita detectar qué factores están afectando al consumo de energía, y por lo tanto, el estado de los indicadores energéticos.

Estos sistemas al contar con bases de datos con registros históricos dan la posibilidad de obtener, de forma rápida y precisa, un estado inicial de la instalación con elementos tales como la exactitud de las mediciones de la compañía eléctrica, identificar problemas con la calidad de la energía, análisis de los consumos, entre otros; lo que le permite a los especialistas contar con un análisis preliminar que acorte los tiempos necesarios para culminar una revisión energética, así como una herramienta que constituye

una ayuda en la toma de decisiones en cada una de las 4 etapas de implantación de la NC-ISO 50001:2011.

Existen importantes compañías en las ramas de la instrumentación y la electrónica como Schneider, Siemens, General Electric o DEXMA con soluciones con grandes prestaciones. El problema principal que presenta estos sistemas es que son caros y muchas veces no son accesibles a las empresas cubanas por trabas ligadas al bloqueo económico al que es sometido el país. Otra dificultad que presentan muchas de estas soluciones es que se limitan a la detección del problema sin brindar soluciones posibles o estas no están adaptadas a las condiciones del sistema energético cubano.

Por otro lado, la mayoría de las soluciones desarrolladas en el país para la gestión de la energía eléctrica se centran solo en el monitoreo de las variables y en dar la información en tablas o gráficos sin brindar análisis sobre estos datos. Entre las entidades cubanas con sistemas que poseen capacidades de monitoreo podemos citar el Grupo de Gestión Tecnológica del CITMA¹, Datazucar, DATYS², el CIGET³ en Villa Clara y entidades del MININT⁴ en Camagüey y La Habana. Estas soluciones, aunque constituyen la base necesaria para el desarrollo de un nivel superior de sistemas capaces de brindar estadísticas y análisis de comportamientos, no cuentan hoy con las funcionalidades necesarias que permitan a sus usuarios ser preactivos en la gestión de la energía eléctrica. Esto dificulta la toma de decisiones y el análisis en aquellas personas que poseen poca o ninguna experiencia en el campo de la eficiencia energética.

Entre los sistemas de monitoreo remoto de la electricidad con mayores potencialidades existentes en Cuba está el XYMA. AMR-ELECTRICITY desarrollado por la empresa DATYS. Debido a su modularidad y arquitectura de campo flexible puede ser aplicado en cualquier empresa independientemente de la ubicación geográfica de sus dependencias o su objeto de uso. Sin embargo, carece de un módulo que le permita realizar diagnósticos energéticos que recojan los problemas que se detectan y sugerencias de cómo mejorarlos, lo que constituye un potencial de desarrollo muy importante. Con este módulo, cuya base de información serían las facturas eléctricas y las lecturas de los medidores inteligentes, se lograría hacer de este sistema una herramienta sólida para la gestión energética. En este aspecto radica la **Situación Problemática** a resolver para la cual se define el siguiente problema científico:

¹CITMA: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

²DATYS: Empresa de desarrollo de Tecnologías y Sistemas

³CIGET: Centro de Información y Gestión de Tecnología

⁴ MININT: Ministerio del Interior

Problema científico

¿Cómo desarrollar un Módulo de Diagnóstico Energético que permita brindar revisiones energéticas de la instalación e incorporarlo al sistema automatizado de monitoreo y control en tiempo real XYMA. AMR-ELECTRICITY?

Hipótesis

Es posible desarrollar un Módulo de Diagnóstico Energético que se incorpore al sistema automatizado de monitoreo y control en tiempo real XYMA. AMR-ELECTRICITY, utilizando como base de información los datos de la factura eléctrica y las lecturas de los medidores inteligentes.

Justificación

Contar con un software que realice una revisión energética preliminar le permite a los energéticos de cada instalación detectar de manera sencilla problemas tales como mal uso de las instalaciones, demanda máxima mal contratada, problemas en el factor de potencia, variaciones en sus indicadores energéticos, entre otros, y le brinda además la posibilidad de obtener posibles soluciones al banco de problemas detectados. Esto permite crear en poco tiempo un plan de medidas de ahorro que palien las ineficiencias energéticas observadas haciendo que una instalación cumpla con criterios de sostenibilidad y uso racional de la energía y unido a ello ahorre parte de la energía que consume a través de ciclos de mejoras continuas. Además contarán con una herramienta que consolida el sistema de dirección y gestión empresarial y mejora su desempeño energético, en correspondencia con lo establecido en la NC-ISO 50001:2011.

Objetivo general

Este trabajo de investigación se plantea el siguiente objetivo general:

- Crear un módulo adicional para el sistema de monitoreo eléctrico XYMA. AMR-ELECTRICITY que permita brindar un análisis energético a través de los datos existentes de una instalación determinada, ya sea de su facturación, de mediciones periódicas o de encuesta con el usuario, que incluya los principales problemas detectados así como sugerencias de soluciones para el mejoramiento de la gestión energética de la instalación.

Objetivos específicos

- Determinar toda la información que puede ser obtenida a través del análisis de los datos existentes en la base de datos y el análisis de las facturas mensuales brindadas por la empresa eléctrica.
- Determinar los posibles problemas que provoquen los comportamientos detectados y sugerencias de soluciones.

- Diseñar un módulo que permita incorporar las facturas eléctricas brindadas en Excel por la Unión Nacional Eléctrica (UNE) y dar a los usuarios un informe sobre los problemas encontrados y las posibles soluciones a los mismos.
- Validar la utilidad del módulo propuesto en la práctica, a través de su utilización en una edificación escogida.

Variables de Investigación

- **Variable independiente:** Módulo de Diagnóstico Energético.
- **Variable dependiente:** Aumento en la eficiencia y la gestión energética.

Este módulo permite que las instalaciones que no poseen medidores inteligentes incorporados al sistema puedan contar con los beneficios de los análisis energéticos a través de sus datos históricos. De manera mensual, la UNE brinda la información de la facturación de cada uno de sus usuarios no residenciales. Este documento, que se ofrece en formato Excel, es introducido en la base de datos de forma automática, permitiendo así contar con datos mensuales sobre los cuales el sistema realiza análisis energéticos de cualquier entidad aún y cuando no se cuenta con un monitoreo en tiempo real. Claramente aquellas instalaciones que cuentan con el monitoreo continuo a través de medidores inteligentes contarán con una mayor y más exacta cantidad de información para este tipo de estudio.

El sistema permite que cualquier entidad pueda monitorear el estado de sus variables energéticas y contar con un grupo de medidas y sugerencias que puedan ser adoptadas en vía de mejorar su gestión. Esto puede traducirse en ahorros mensuales apreciables para la instalación. Los especialistas del Centro Ministerial del Control a la Energía plantean que según su experiencia, es posible ahorrar hasta un 18% de energía sólo con cambios en los hábitos de uso y aplicando medidas de bajo impacto económico. Es por ello que para poder lograr un aumento sostenido en la eficiencia energética es imprescindible contar con un sistema de monitoreo y análisis energético.

Métodos de investigación

- Métodos teóricos. (análisis y síntesis, histórico lógicos, enfoque sistémico, etc.)
- Estadísticos.
- Modelación.
- Medición.
- Método lógico inductivo.

Resultados esperados

Este módulo tiene las potencialidades de detectar problemas a través del análisis de los datos aportados por las facturas eléctricas, de las mediciones en tiempo real y de encuestas realizadas al especialista en

gestión energética. Este banco de problemas conforma un informe preliminar que es entregado al usuario junto con sugerencia de soluciones a los mismos. Además hace de este sistema un producto final más redondeado a las necesidades no solo de monitoreo y control en tiempo real de las variables energéticas, sino también de un informe que permita la adopción de medidas de eficiencia energética. Con ello la organización puede desarrollar e implementar una adecuada política energética y establecer objetivos, metas, y planes de acción para mejorar su desempeño energético y demostrar la conformidad del sistema con los requisitos de la ISO 50001.

Esfera en que podrán ser introducidos los resultados de la investigación

Esta herramienta está destinada a las entidades del MININT, lo que no quiere decir que no pueda ser aplicado, con pequeñas variaciones, en cualquier empresa independientemente de la estructura que posea y su objeto social. La flexibilidad que le atribuye al sistema estar dividido en capas hace que aplicar esta solución en otras ramas del sistema empresarial cubano sea sumamente sencillo. El sistema está concebido en su arquitectura para que en un momento posterior le sean incluidos otros portadores energéticos como el agua o el gas. La experiencia obtenida con la electricidad podrá ser aplicada para estos nuevos portadores, lo que hace que el marco de aplicación del sistema sea más amplio.

Aspectos de carácter novedoso de la investigación

Las investigaciones ligadas a los medidores inteligentes, a las infraestructuras de medición automática y a los sistemas de gestión de la energía eléctrica cuentan con un gran potencial en lo referente a resultados debido a lo relativamente nuevo y dinámicos que son estos conceptos. Un sistema capaz de hacer mediciones en tiempo real de manera automática y brindar diagnósticos energéticos teniendo en cuenta los datos históricos obtenidos es algo bien novedoso en el mercado nacional. Si además se tiene en cuenta las posibilidades de esta herramienta como ayuda para instaurar en la organización un sistema de gestión de energía eficaz y la obtención de indicadores de desempeño energético, así como la creación de un banco de problemas y sugerencias de soluciones, es posible calcular el alcance y las potencialidades a las que se pretenden llegar con el mismo.

Capítulo 1 Marco teórico de la investigación

Este capítulo contiene un resumen de los elementos conceptuales asociados a los temas más importantes que son abordados en mayor o menor medida en esta Tesis de Maestría. Entre ellos es posible encontrar aspectos relacionados con la gestión energética, los sistemas informáticos para la gestión energética, la norma ISO 50001, los medidores inteligentes y las infraestructuras de medición avanzada. Estos temas son indispensables para comprender tanto el tema central donde se enmarca este estudio como aquellos que de alguna manera guardan relación con él. Para obtener mayor información sobre los aspectos presentados se recomienda dirigirse a la bibliografía referenciada.

1.1 La gestión energética

La gestión energética consiste en optimizar el uso de la energía buscando racionalidad y eficiencia, sin disminuir prestaciones [7]. A través de ella se detectan oportunidades de mejora en aspectos relacionados con la calidad y seguridad del sistema energético, logrando que los usuarios conozcan el sistema, identifiquen los puntos consumidores e implanten mejoras, alcanzando altos niveles de eficiencia energética. Según la Asociación Española para la Calidad (AEC) la gestión energética se define como *“un análisis integral de la situación actual del consumo energético para implantar un sistema de control de la energía. A la par, busca alternativas en fuentes de energías renovables y la protección del medio ambiente, tanto en el diseño del proyecto como en la ejecución y coordinación de las entidades”* [8].

La gestión energética es el arma que permite a muchas empresas mejorar su competitividad a través de la reducción de sus gastos y la mejora de sus balances. Es por ello que la especialista en gestión empresarial Ainhoa Murgia la define en una frase como *“La fórmula para ahorrar energía sin invertir”* [2].

Esta herramienta debe contribuir a fijar los objetivos a corto, medio y largo plazo para conseguir la optimización de los recursos energéticos, así como establecer las medidas, acciones y modificaciones que permitan reducir el consumo de energía. Para gestionar eficientemente las instalaciones resulta imprescindible la incorporación del grupo de gestión energética en los procesos. Este grupo, cuya máxima figura es el Gestor Energético, será quien se encargue de velar por la eficiencia energética a través de actuaciones de mejora y mantenimiento de las instalaciones eléctricas, de alumbrado y térmicas, potenciando medidas de ahorro y eficiencia con la finalidad de una reducción de la facturación energética. La figura del Gestor Energético es necesaria independientemente del tipo de proceso; mientras que el tamaño del Grupo de Energética se debe definir en cada caso concreto [9].

1.1.1 Cómo realizar una gestión energética eficiente

Los sistemas de Gestión Energética (SGEn) se basan en el ciclo de mejora continua, o también llamado la rueda de Deming: Planificar-Ejecutar-Verificar-Actuar para lograr ahorros energéticos en una instalación. En la figura 1-1 se muestra este concepto aplicado a la gestión energética (ver Anexo 1).



Figura 1 - 1. Ciclo de gestión energética

Algunas consideraciones relacionadas con cada uno de estos estados son [10]:

Paso 1 Diagnóstico energético: Realización de un análisis de la situación de la instalación o proceso. Sirve para establecer los parámetros iniciales. Dentro de este análisis y como pieza fundamental del mismo, se encuentra la realización del flujograma del uso de la energía para conocer cómo se consume la energía y establecer a su vez una línea base de demanda y consumo.

Paso 2 Establecimiento de las bases: Establecimiento de los planes de acción y la definición de las medidas de bajo, medio y alto impacto económico. En este paso se debe hacer un análisis exhaustivo de cada una de las acciones a tomar. Aquellas medidas que necesiten inversiones deben ir acompañadas con una valoración de sus amortizaciones.

Paso 3 Gestión de la energía: Instaurar las modificaciones de los planes de mantenimiento, instalación o sustitución de equipo y puesta en práctica de nuevas formas de uso de la energía. No es más que poner en práctica cada una de las medidas o modificaciones al sistema de gestión que se hayan definido en el paso anterior, asegurándose que se cumplen los parámetros de eficiencia prefijados.

Paso 4 Monitoreo del proceso: Observar el estado de funcionamiento del proceso. Se limita a evaluar cómo está funcionando el proceso o la instalación que fue objeto de estudio en las nuevas condiciones y como se comportó frente a los cambios que le fueron aplicados.

1.2 La gestión energética en el contexto empresarial cubano

Es importante abordar el tema de la gestión energética en Cuba y cómo se aplica en la generalidad de las empresas cubanas debido a que el contexto donde se desarrollan posee un sinnúmero de particularidades. Además, la economía cubana sufre de las embestidas de la crisis en el suministro energético, lo cual se extiende en mayor o menor grado en todos los sectores de la actividad económica. En virtud de las prioridades asignadas a las empresas exportadoras y a los servicios sociales básicos, en cuanto al suministro energético, el impacto sobre el resto de las empresas es severo. Esta situación obliga a la dirección del país a tomar medidas y establecer programas cuyo alcance es global y sectorial [11].

Autores como Lápido Rodríguez, hacen referencia a varias insuficiencias en la Gestión energética empresarial como los principales problemas que afectan la eficiencia energética en Cuba. Entre estas se destacan el insuficiente análisis de los índices de eficiencia energética, el desconocimiento de la incidencia de cada portador energético en el consumo total, las insuficiencias en los sistemas de información estadística y la falta de apreciación de la eficiencia energética como una fuente de energía importante. Unido a esto se tienen otros problemas de índole tecnológico como la falta de equipamiento adecuado para la medición, la obsolescencia de la mayoría de los equipos en los procesos productivos y el bajo nivel de utilización de software de gestión energética [12]. Estos y otros problemas han sido detectados en los análisis realizados en varias empresas cubanas por el Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), de la Universidad de Cienfuegos [13], que ponen de manifiesto el insuficiente nivel de gestión energética existente, así como las posibilidades de reducir los costos energéticos mediante la creación de las capacidades técnico-organizativas para administrar eficientemente la energía.

Según Borroto y Monteagudo, hasta el momento el problema de explotar el recurso “*eficiencia energética*” se aborda en las empresas de forma limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro o conservación energética [6]. Esta vía, además de obviar parte de las causas que lo provocan, baja la eficiencia energética en las empresas. Estas formas de gestión generalmente tienen baja efectividad por realizarse sin la integralidad, los procedimientos y el equipamiento requerido, por limitaciones financieras para aplicar los proyectos; pero sobre todo, por no contarse con la cultura ni las capacidades técnico-administrativas necesarias para realizar el seguimiento y control requerido para lograr un adecuado nivel de consolidación de las medidas aplicadas [14].

Con la nueva política económica aplicada por el Estado Cubano y la creciente inserción de las empresas cubanas en mercados internacionales, las entidades han ido comprendiendo que si no prestan atención a este aspecto verán limitadas sus posibilidades de crecimiento y desarrollo con una afectación sensible de su nivel de competencia; quedando rezagadas respecto a aquellas que preparen sus recursos humanos y creen las capacidades para explotar este recurso. Esto ha hecho que mejore considerablemente el nivel de eficiencia energética en Cuba en los últimos años, dado principalmente por los proyectos desarrollados por instituciones líderes, como la Universidad de Cienfuegos, el MININT, el CITMA y otros centros de investigación, lo que ubica a Cuba en una posición favorable para continuar aumentando la efectividad en el uso de los recursos energéticos.

1.3 Diagnósticos energéticos o auditorías

Una auditoría energética es un “*estudio de los ahorros energéticos que pueden conseguirse en una instalación mediante la implementación de diversas medidas de ahorro energético, generándose también un ahorro económico. Estos estudios incluyen análisis del uso eficiente de la energía y la presentación de*

informes técnicos y financieros sobre las recomendaciones para mejorar la eficiencia energética y del plan de acción para implementar las recomendaciones.” [15].

Una auditoría o revisión energética se puede dividir en las siguientes cuatro fases:

- **Fase 1** Recopilación inicial de la información.
- **Fase 2** Visita a instalaciones y toma de datos.
- **Fase 3** Análisis de impacto de las medidas de ahorro.
- **Fase 4** Redacción de informe final.

Estos estudios dan la posibilidad de evaluar la gestión y el estado de la tecnología en una empresa respecto al abastecimiento y consumo energético. Estos pueden ir desde autodiagnósticos sencillos, hasta herramientas formales más complejas constituyendo la base de las intervenciones y mejoras específicas en materia de consumo energético, uso eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en una empresa.

La auditoría o revisión energética debe incluir un plan de implementación de medidas de eficiencia energética, que considere criterios de priorización, costos, beneficios y plazos de ejecución. Es importante tener presente que las revisiones energéticas no economizan energía *per se*, es la implementación de las recomendaciones las que conllevan a lograr mayor eficiencia energética [16].

La revisión energética y la implementación de sus recomendaciones deben formar parte de un programa de “*gestión energética*” para que la economía de la energía sea mantenida y mejorada en el tiempo. No debe entenderse que diagnóstico o revisión son equivalentes a gestión energética. Las revisiones energéticas son parte de la gestión energética y constituyen una herramienta fundamental para hacer gestión, por ende, se deben efectuar periódicamente y no sólo una vez. La frecuencia dependerá de los plazos requeridos para la implementación y el chequeo de las medidas o metas a alcanzar [17] [18].

No todas las auditorías energéticas presentan el mismo nivel de profundidad en su estudio de la eficiencia energética. Es por ello que debe tenerse claridad en cuanto a los objetivos que se persiguen. Seguidamente se describen los elementos principales de los distintos tipos de auditoría energética.

1.3.1 Auditoría energética preliminar

Este tipo de auditoría es sólo el inicio de la eficiencia energética en una empresa; puede ser realizada con los propios recursos de la organización y ser parte de un programa de gerenciamiento de la energía. Corresponde al levantamiento energético de las instalaciones con sus ineficiencias o pérdidas de energía más relevantes, entregando información básica para llevar a cabo las primeras acciones en esta área. La principal función de un diagnóstico energético preliminar es responder preguntas tales como [19]:

- ¿Cuál es la situación energética general?

- ¿Cuánta energía está siendo utilizada y cuánto se gasta en los insumos energéticos?
- ¿En qué procesos se utiliza la energía y cuáles son los consumos más grandes?
- ¿Es posible identificar oportunidades de mejoramiento en el uso de la energía?

1.3.2 Auditoría energética detallada

Las auditorías energéticas detalladas tienen el propósito de conocer el uso las fuentes de energía en procesos y subprocesos específicos. Utilizando los potenciales de mejoramiento detectados en auditorías preliminares se persigue identificar, cuantificar y calcular de manera precisa las posibilidades de mejorar la eficiencia, mediante la aplicación de medidas y tecnologías más sofisticadas que pueden incluir modificaciones del proceso. Estas auditorías deben incluir la elaboración del o los proyectos de Inversión en Eficiencia Energética para ser presentados a una fuente de financiamiento, a menos que la empresa considere innecesario recurrir a financiamiento externo [19].

1.3.3 Auditoría energética de especialidad

La especialización más general de una revisión energética puede ser eléctrica, térmica o una combinación de ambas. No obstante, dentro de cada una de estas especialidades es posible enfocar una revisión en temas más específicos de cada especialidad. Esto dependerá de las particularidades de la instalación o proceso que esté siendo objeto de estudio y de las necesidades primordiales del mismo. Por nombrar ejemplos de enfoques específicos en la especialidad térmica estos podrían ser las calderas, los hornos, las cámaras de frío, entre otras; en el caso de la especialidad eléctrica se podría citar a la iluminación o los motores eléctricos [19].

1.3.4 Papel de la empresa en la auditoría

El éxito de una revisión energética no sólo depende de que sea realizada por un buen consultor, sino que se requiere además el compromiso de la empresa con la eficiencia energética centrándose en [1]:

- La asignación de profesionales con buen conocimiento de los procesos y entendimiento de las demandas de energía respectivas, para colaborar con el consultor en el levantamiento de la información en el terreno, las mediciones y en los análisis respectivos.
- Permitir el acceso del consultor a la información y a hacer las mediciones que sean necesarias; en las etapas posteriores a la revisión, es decir, la fase de implementación de opciones de eficiencia energética, debe proporcionar los recursos necesarios para que dichas medidas se concreten. Además deberá crear cargos responsables de la eficiencia energética en el organigrama de la empresa y conseguir financiamiento para opciones que requieran estudios de ingeniería más profundos o inversiones en equipos y tecnología.
- La empresa debe tener una contraparte técnica válida para el consultor, es decir, con un nivel profesional comparable al del consultor, para revisar los informes que entrega. Dicha contraparte

debe tener comunicación directa con el personal de la empresa que colabora con el consultor en el levantamiento de información y con los cargos gerenciales involucrados.

1.4 La gestión de energía según la Norma ISO 50001

La ISO 50001 [4] es una norma internacional que recoge los requisitos para el establecimiento de un sistema de gestión de energía. Esta norma ha sido publicada por la ISO⁵ en Junio de 2011, y es aplicable a cualquier tipo de organización, independientemente de su tamaño, sector, o ubicación geográfica, bien se dediquen a la provisión de servicios o a la elaboración de productos.

Esta norma especifica los requerimientos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de administración de energía, cuyo propósito es lograr el mejoramiento continuo del desempeño de energía, incluyendo eficiencia energética, seguridad energética y utilización de energía. Brinda además a las organizaciones la posibilidad de reducir continuamente su consumo de energía, y de esta manera, sus costos asociados y la emisión de gases de efecto invernadero. Ha sido modelada a partir de las normas ISO 9001, de sistemas de gestión de calidad, y la ISO 14001, de sistemas de gestión ambiental.

Uno de los atributos más prominentes de la ISO 50001 es el requisito de “... *mejorar el sistema de gestión de energía, y el desempeño energético resultante*” (cláusula 4.2.1.c). De esta manera ha realizado un salto importante al requerir de la organización una demostración de su compromiso con la mejora de su desempeño energético. No se especifican metas cuantitativas. Cada organización elige las metas que desea establecer, y posteriormente diseña un plan de acción para alcanzarlas. Con este enfoque, una organización tiene más posibilidades de observar beneficios financieros tangibles [20].

A diferencia de las normas de sistemas de gestión de la energía que la anteceden, la ISO 50001 se centra en el concepto de desempeño energético, el cual amplía para incluir, además de la eficiencia energética, el uso y consumo de la energía. Ello garantiza que todos los aspectos relacionados con la energía sean tenidos en cuenta dentro del sistema de gestión y puedan ser controlados por la organización [20].

Esta norma, que como se mencionó previamente está basada en el ciclo de mejora continua, incorpora la gestión de la energía a las prácticas habituales de la organización. En términos generales, “*Planear*” en un sistema de gestión, involucra la identificación de un problema u oportunidad y a partir de allí, se planifican las acciones necesarias para resolverlo o para aprovechar las oportunidades. En “*Hacer*” se

⁵ ISO por sus siglas en inglés International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

implementan las acciones planeadas. “*Verificar*” implica el seguimiento, medición, control y análisis tanto de las acciones, como del funcionamiento del sistema. Por su parte, “*Actuar*” comprende tomar acciones sobre lo que se aprendió en “*Verificar*”. Para obtener los beneficios de la norma es necesario tener herramientas definidas para la medición y control del desempeño energético de la empresa. Teniendo en cuenta esta idea es necesario conocer en general cuáles son las acciones planteadas por la norma.

En la fase de planificación, la norma determina las acciones para desarrollar la revisión energética y establecer la línea de base, los objetivos y las metas en correspondencia con la línea determinada y los planes de acción necesarios para alcanzar los resultados esperados de acuerdo a las oportunidades de mejora y su política energética. Se establece además la necesidad de identificar Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) apropiados para realizar el seguimiento al desempeño energético de la organización. Los IDEn, al igual que la línea de base energética, tienen mucha utilidad en comparaciones de desempeños energéticos posteriores a la puesta en marcha de una mejora.

La fase de verificación comprende aquellas actividades destinadas a evaluar la evolución del desempeño energético y del sistema de gestión de energía para detectar problemas, corregir desviaciones y analizar el comportamiento de la entidad ante las medidas que fueron implementadas. Por ello se hace necesario tener una manera de monitorear los consumos de la energía y las producciones en cada período de tiempo, pueden ser diario, semanal, mensual o anual con lo cual se podrán hacer los cálculos y comparaciones necesarias. La organización debe asegurarse de que las metodologías y equipos usados en el seguimiento y medición proporcionen información exacta, repetible y perdurable.

Como es posible apreciar, los procesos de planeación y verificación energética llevan a cabo diferentes métodos, diagramas o gráficos con el objetivo de medir y monitorear el desempeño energético de la empresa. Para implementar estas etapas de la norma se pueden aplicar herramientas como el Gráfico de Control, el Diagrama de Consumo vs Producción en el tiempo, el Diagramas de Dispersión y Correlación, el Diagrama Índice de Consumo – Producción, el Gráfico de Tendencia o de Sumas Acumulativas, el Diagrama de Pareto y la Estratificación.

Para implementar estos instrumentos de análisis es imprescindible contar con un sistema de información basado en herramientas computacionales. Es necesario tener un sistema de medición, análisis, monitoreo y control de desempeño energético que permita realizar este proceso de una manera rápida, veraz, eficiente y altamente confiable en los resultados obtenidos. Un sistema de medición automática es una vía eficaz de satisfacer los propósitos de rapidez y confiabilidad con el cual generar la información que permita la toma de decisiones rápidas y correctas en pos de incrementar la eficiencia energética.

1.5 Medidores inteligentes y las infraestructuras de medición avanzada

En el actual mercado de la energía se ha venido notando la preocupación sobre el ahorro de la energía eléctrica. Por tal motivo desde hace algunos años se han venido desarrollando sistemas que permiten

realizar análisis de energía eléctrica a partir de una amplia gama de información que es ofrecida por los dispositivos de medición. Todo este desarrollo en el análisis y la medición viene impulsado por la aparición de los medidores inteligente o AMR (por sus siglas en inglés *Automatic Meter Reading*) [21] [22]. Una imagen de este tipo de equipamiento de la marca CIRCUTOR puede ser vista en la figura 1-2.



Figura 1 - 2. Medidores inteligentes

Un medidor o contador inteligente es “*un tipo de medidor avanzado (medidor eléctrico, de agua o gas) que calcula el consumo de una forma más detallada que los contadores convencionales. Estos equipos también ofrecen la posibilidad de comunicar esta información a través de alguna red a un centro de control, la cual puede utilizar los datos a efectos de facturación, seguimiento o análisis. Así mismo algunos tienen la capacidad de interrumpir el suministro a criterio de un sistema de gestión remoto. La cantidad de datos y variables ofrecidas por estos equipos y la exactitud de las mediciones hace que se hayan convertido en la base de cualquier sistema de gestión de energía.*” [23]

La mayoría de las empresas de servicios en Europa y Estados Unidos están migrando a medidores AMR de avanzada. En Asia e Hispanoamérica la mayoría de estas empresas han empezado a realizar estudios para la implementación de metros AMR a amplia escala, mientras que otras cuentan ya con sistemas AMR funcionales [24]. Viéndolo de esta perspectiva, se pudiera pensar que estos sistemas solo han abarcado el mercado de las empresas suministradoras de servicios eléctricos, pero nada más lejos de la realidad. La dimensión total del concepto AMR está aún evolucionando, y constantemente los desarrolladores de estas tecnologías encuentran nuevos beneficios para sistemas de gestión dirigidos a los usuarios. Hoy es posible encontrar una vasta gama de soluciones desarrolladas por fabricantes como Schneider, Siemens, General Electric, DEXMA, CIRCUTOR, que dan la posibilidad a los usuarios de disponer de datos precisos y confiables con los que implementar programas de mejoras continuas que modifiquen sus hábitos de consumo, teniendo por ello un sinnúmero de implicaciones económicas y ambientales [25].

Estos sistemas cuando van creciendo en funcionalidades y complejidad llegan a formar redes inteligentes teniendo como base la medición avanzada o inteligente, abriendo paso a nuevas posibilidades que los sistemas convencionales no están preparados para soportar. Las Infraestructuras de Medición Avanzada

o AMI (Automatic Meter Reading) “son sistemas que miden, recolectan y analizan el uso de la energía en una red que conforman varios medidores inteligentes. Estos sistemas están en capacidad de gestionar la información recolectada y tomar decisiones, para ello la infraestructura incluye el hardware, software, equipos de comunicaciones, pantallas con información para los usuarios, etc.” [26] Para las empresas de servicio las AMI brindan amplios beneficios debido a un menor costo de lectura, una mejora significativa en la calidad de la lectura, acceso instantáneo a la información y una rápida identificación de problemas en el servicio. Mientras que a los usuarios les brinda mediciones en tiempo real, posibilidades de control según demanda o consumo, gráficos de tendencias y de comportamiento, bases de datos históricos, posibilidades de cumplir planes de consumos establecidos, conocer las áreas de mayor impacto, detectar fallas en equipos altos consumidores, entre otras [27].

Los sistemas AMI y los medidores inteligentes no son elementos novedosos en el mercado, existen desde hace más de 20 años, lo único que ha cambiado es la perspectiva. Jesse Berst, Presidente del Centro para la Energía Inteligente de Estados Unidos, publicó en la revista SGN un artículo titulado “Las claves para el éxito de los contadores inteligentes” [28] las que enumeró como:

- **Participación del consumidor:** Lograr que los usuarios vean la necesidad de poseer estos sistemas y las posibilidades que brindan. Sin esta conciencia creada, de poco sirven los avances tecnológicos.
- **Técnicas de financiación:** Lograr que las grandes empresas de tecnologías no solo creen tecnologías para consumidores de alto poder adquisitivo. Lo importante es lograr niveles de desarrollo equitativo, para lo que se necesita un financiamiento igualmente equitativo.
- **Aplicación gradual:** Hay que evitar una sobresaturación de dispositivos. Conviene que el consumidor se acostumbre poco a poco.
- **Estudio del caso:** Conocer bien el lugar al que se le va a instalar para evitar sistemas sobredimensionados. Un trabajo bien hecho requiere una buena planificación previa.
- **Integración de sistemas:** Es la idea esencial de una red inteligente, integrar toda la información y aprovecharse de ella para lograr la máxima eficiencia.

La idea de un planeta energéticamente sostenible se ha extendido a medida que sistemas de este tipo se van aplicando en cada rama de la vida. Países como Brasil, Colombia, Ecuador, México y Cuba han comenzado a usar estos sistemas, lo que conlleva una reforma exhaustiva con el cambio de contadores por medidores inteligentes lo que mejorar la gestión energética traduciéndose así en ahorros económicos.

1.6 Software de gestión energética

El primer paso a la hora de ahorrar energía es tener un control de los consumos de la instalación. Para realizar la gestión energética es necesario contar con un cúmulo de información precisa de los consumos tanto de energía como de potencia en todas y cada una de las áreas de la instalación. Con esta

información es posible saber cuánto se puede ahorrar y cuáles son los equipos de mayor impacto en el consumo de energía eléctrica.

Con los sistemas de medición avanzados existentes en la actualidad los usuarios cuentan cada vez con un mayor número de variables registradas, por lo que se necesita una herramienta que le facilite la interpretación y análisis de los datos. El objetivo principal de un software de gestión energética consiste en simplificar y acercar al nivel humano la complejidad de una instalación. Schneider Electric en su catálogo de productos del año 2014 al referirse a este tipo de software utiliza un símil que brinda un alto nivel de claridad a la hora de entender lo que encierra este tipo de sistema.

“La instalación es como un organismo vivo. El responsable eléctrico no tiene ningún poder sobre la vida y la evolución de dicho organismo, pero garantiza su alimentación. El responsable eléctrico es un médico que diagnostica, cura y previene las enfermedades de la instalación. Su objetivo consiste en mantener la salud de la instalación, sin generar efectos secundarios. El software constituye el instrumento de diagnóstico que se encuentra a la disposición del responsable.” [29]

Como se ve estos sistemas registran, recopilan y almacenan variables eléctricas que permiten luego presentar al usuario tendencias, valores máximos o mínimos entre otros parámetros del consumo de la energía. A través de estos análisis se identifica el potencial de ahorro en el consumo energético y desarrollan las metas, estrategias y medidas para la optimización del consumo y los costes. Estos sistemas se completan con potentes herramientas de visualización, análisis y presentación de los datos, imprescindibles para detectar oportunidades y evaluar las medidas implantadas de ahorro energético; así como la definición de estrategias de operación orientadas a optimizar el consumo energético y a mejorar la gestión energética en una instalación.

Los sistemas conformados por medidores inteligentes derivando en redes AMI que son gestionadas por aplicaciones con alta capacidad de procesamiento son de mucha utilidad para la gestión energética. Por solo citar un par de ejemplos, un informe de *PikeResearch* publicado a finales de 2013 [30], estima que el mercado norteamericano de servicios y software de gestión energética crecerá entre 2014 y 2020 a tasas anuales superiores al 20%; mientras que en España, según datos de la Comisión Nacional de Energía (CNE), existen aproximadamente 100 000 clientes con contratos de media o alta tensión que consumen aproximadamente el 50% de la electricidad, todas estas instalaciones cuentan con sistemas de este tipo para su gestión energética [31].

Las motivaciones de estos usuarios para invertir en este tipo software pueden ser separadas en tres grandes grupos que son las que impulsan este mercado [7]:

1. **Motivaciones de precios:** Un incremento en los precios de la energía y otros insumos puede impulsar a la adopción de soluciones de gestión energética para no perder competitividad.

2. **Motivaciones de sostenibilidad:** Relacionadas con la adopción de una imagen de organización “verde”, ya sea por propia iniciativa, impuesta por clientes o por matrices de sus filiales.
3. **Motivaciones regulatorias:** La Unión Europea ha sido pionera en promover la eficiencia energética entre sus países miembros, y medidas como las incluidas en la Directiva 27/2013 de Eficiencia energética referentes a auditorías energéticas, sistemas de gestión energética certificados o contadores inteligentes actuarán como motores del mercado.

El desarrollo del mercado de software de gestión energética tiene implicaciones a varios niveles [7]:

- Para los clientes de dichas soluciones que, gracias a pequeñas inversiones, pueden capturar importantes ahorros energéticos y tener una visión completa de las medidas a llevar a cabo para optimizar su coste de energía.
- Para el país que impulsa estos sistemas, ya que el desarrollo de este mercado contribuye a una menor dependencia energética exterior. Además contribuye a evitar que la matriz energética nacional se afecte por sobreconsumos que hagan necesaria la utilización de fuentes de energías ineficientes.
- Para el desarrollo de un nuevo sector altamente cualificado, intensivo en capital humano y con capacidad para generar empleo de calidad dando un producto con alto valor agregado.

1.6.1 El diagnóstico energético con el uso de software de gestión energética.

Como se ha expresado anteriormente las aplicaciones comerciales para la gestión energética poseen en su mayoría una amplia gama de formas de presentar el vasto grupo de variables que son capaces de obtener de los medidores inteligentes. Este grupo de datos, gráficas, análisis de tendencias entre otras constituyen una herramienta valiosa para los especialistas en gestión energética que se encuentren realizando una revisión energética de una instalación o monitoreando el estado de funcionamiento de esta en un momento determinado [1].

Aunque todos estos sistemas brindan la información obtenida, pocos son los que se adentran en hacer análisis de los datos de manera que ofrezcan una información más completa y precisa de los problemas detectados [32]. Este es un nicho de utilidades importantes que en muchos software no se explotan adecuadamente. Las capacidades de procesamiento y análisis que tienen las computadoras modernas, unido a algoritmos de minería de datos bien estructurados son capaces de detectar situaciones que a un especialista entrenado pudiera escapársele o tardaría en detectar; todo esto en fracciones de segundos y sin los errores de cálculo o procesamiento que pudiera incorporar un humano. Esto sin duda permitiría al especialista centrarse en otros temas donde la computadora no es capaz de llegar librándolo de cálculos y análisis complicados por el volumen de información. Esto no es otra cosa que utilizar los puntos fuertes del hombre y la máquina con el objetivo de obtener un diagnóstico energético de mayor calidad y nivel científico dando como resultado una mejor comprensión del estado de la instalación.

En los epígrafes que siguen se ejemplifican algunos sistemas comerciales que han sido utilizados con buenos resultados en nuestro país. Esto sirve no solo para ver las peculiaridades de estas aplicaciones sino también para tener una idea más concreta de las bondades que brindan, tanto los que dan un diagnóstico preliminar con los datos obtenidos como aquellos que se limitan a visualizárselo al usuario.

1.6.2 Software PowerStudio de la empresa CIRCUTOR.SA

La empresa española CIRCUTOR lleva más de 35 años dedicada a la fabricación y distribución de equipos y sistemas para la gestión de la eficiencia energética eléctrica. En los años 80 esta empresa incrementó las prestaciones de sus productos, dotándolos de comunicaciones para conformar redes de gestión energética. A partir de entonces surgió la necesidad de un software de control y gestión. De esta necesidad surge el primer software del mercado para tal efecto conocido como PowerStudio [33]. Algunas vistas de esta herramienta así como alguno de los productos de esta empresa aparecen en la figura 1-3.



Figura 1 - 3. Productos ofertados por CIRCUTOR y algunas vistas del software PowerStudio

Con el tiempo, este software de gestión ha ido evolucionando, integrando cada uno de los nuevos equipos que CIRCUTOR ha ido desarrollando y aprovechando la potencia de las plataformas informáticas que han ido apareciendo en el mercado hasta la actualidad. Actualmente, el software PowerStudio engloba todas las herramientas necesarias para gestionar desde contadores de electricidad, agua, gas, sistemas de compensación de energía reactiva hasta potentes analizadores de redes [34].

Este software permite al usuario tener monitorizada la instalación, conociendo en tiempo real el estado de sus líneas de potencia y el consumo general tanto en baja como en media tensión. Dicha supervisión es importante porque se tiene información exacta sobre el estado de la instalación eléctrica, fundamental para la toma de decisiones acertadas. Dependiendo de los equipos instalados se pueden tener monitorizados una gran cantidad de parámetros eléctricos y de proceso. Esta información se presenta al usuario de distintas formas, como se ve en la figura 1-4. Las prestaciones de este sistema son [34]:

- Servicios de Windows para gadgets.
- Visualización online de los parámetros de los equipos (ya sean eléctricos, señales de proceso, etc.)
- Parametrización remota de los dispositivos.
- Visualización de gráficos en tiempo real.
- Representación en gráficos y tablas de datos históricos almacenados.

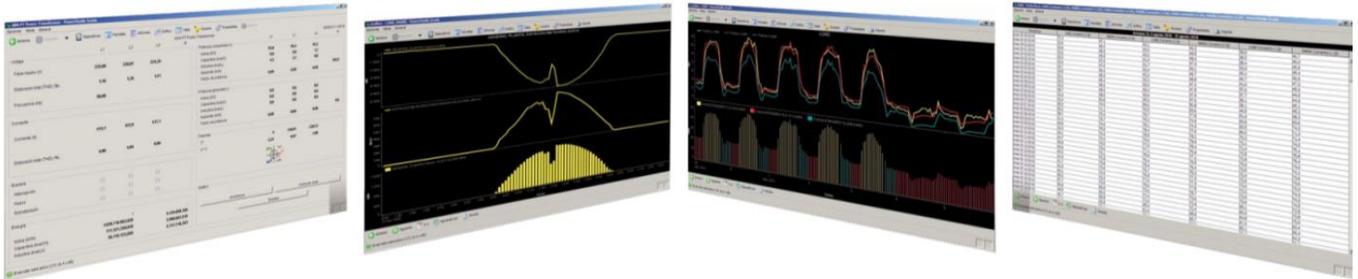


Figura 1 - 4. Distintas formas de presentar la información en el PowerStudio

Debido al gran volumen de información que aporta cada central de medida es necesario disponer de un sistema centralizado de recogida de datos. El PowerStudio SCADA está diseñado para actuar como centralizador y gestor de información. La finalidad de este software es el procesamiento de los datos y la elaboración de informes de diagnóstico de la instalación con el objetivo de adoptar medidas preventivas o correctivas. Este módulo le da la posibilidad al software de generar informes personalizados, e incluso, sobre las variables calculadas, pueden aplicarse funciones matemáticas con el objetivo de obtener relaciones de producción o comprobaciones de consumos respecto una factura eléctrica emitida. En estos informes pueden aparecer además estudios de consumo, principales problemas en la calidad de la energía, resumen de eventos, entre otros elementos registrados por PowerStudio.

1.6.3 Software PowerLogic ION Enterprise de la empresa Schneider Electric

PowerLogic ION Enterprise es la solución más completa para el manejo de la energía existente en el mercado según publicó la consultora independiente Verdantix en su informe *Green Quadrant Energy Management Software* [35]. Este sistema, diseñado tanto para proveedores de energía como para usuarios industriales y comerciales, ayuda al personal de ingeniería y administración a reducir los costos relacionados con la energía, evitar paros de producción y reducir el impacto ambiental de su empresa.

El software utiliza tecnologías estándar de comunicación industrial, como Ethernet, serial e inalámbrica, para de forma automática reunir y almacenar la información de cada punto de toma de energía. Este sistema inteligente de administración de energía funciona como una interfaz única para la administración de los recursos eléctricos y de otros consumibles como el agua, gas o vapor; dejando disponible la información del edificio o complejo industrial. El sistema de monitoreo y reportes desde la WEB le permite a los usuario acceso personalizado a la información relevante en el momento que se requiera [36] [29].

El sistema PowerLogic ION Enterprise da seguimiento en tiempo real a las condiciones del sistema de energía, analizando su calidad y disponibilidad. En caso de alarma responde con las acciones programadas por el usuario para evitar situaciones críticas que puedan ocasionar fallas o paros en los equipos. De no existir accionar a realizar, alerta de condiciones críticas, proporcionando sugerencias y herramientas para que se pueda actuar rápidamente. Asimismo, este sistema es un buen soporte para programas de gestión de la energía gracias al seguimiento del desempeño que se le puede asociar a cada variable medida posibilitando tomar las mejores decisiones para lograr una mayor eficiencia energética. Permite además estudiar las tendencias históricas para identificar la cantidad de energía que está siendo consumida de forma ineficiente, determinar la capacidad libre en los sistemas de distribución de electricidad, así como comprobar la eficacia de las acciones implementadas para el ahorro de energía. El software incluye cálculos para la suma de cargas y facturación gracias a los módulos aritméticos y lógicos. Cuenta también con capacidades de control para la administración de generadores y bancos de capacitores, lo que permite controlar la demanda y los cargos por bajo factor de potencia.

Algunas vistas del software PowerLogic aparecen en la figura 1-5. La forma de visualización de las pantallas se personaliza de acuerdo a las necesidades de cada usuario, las cuales pueden ser utilizadas por cada uno de los diferentes departamentos, como ingeniería, finanzas, operaciones y gerencia. La información puede compartirse de forma automática por correo electrónico ya que cada cierto tiempo pre-programado por el usuario se generan reportes con todos los elementos vistos anteriormente.

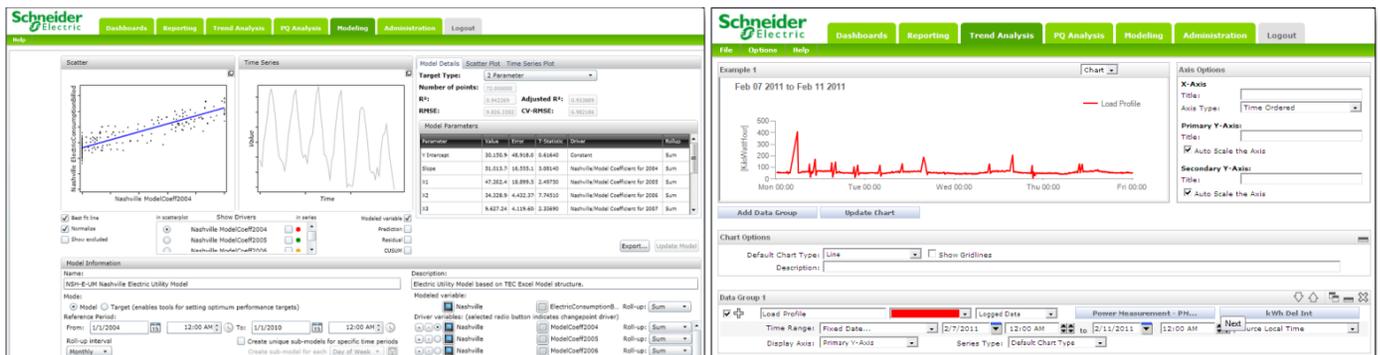


Figura 1 - 5. Vistas del software PowerLogic ION Enterprise

1.6.4 Software XYMA. AMR-ELECTRICITY de la empresa DATYS

Uno de los sistemas de gestión energética desarrollados en Cuba con mayores prestaciones es el XYMA. AMR-ELECTRICITY, fabricado y distribuido por la empresa DATYS. En este epígrafe se explica este sistema con un poco más de detalles que los ejemplos anteriores puesto que el objetivo principal de esta Tesis de Maestría es la confección de un Módulo de Diagnóstico Energético para este sistema. Es por ello, que a la vez que se muestra como un ejemplo de software de gestión energética desarrollado en Cuba, se aprovechará para dar todos los elementos que lo componen.

Antiguamente el Puesto de Mando de la Energía del MININT no contaba con un sistema automatizado para la recolección de las lecturas de los metros contadores de electricidad. La medición del consumo diario por entidades se realizaba de manera manual, y se transmitía por correo electrónico o vía telefónica. Con la información aportada se actualizaban una serie de tablas Excel a partir de las cuales se conformaban los partes semanales que se brindan a la jefatura de este ministerio. Con esta situación se realiza una solicitud a DATYS para el desarrollo de un proyecto de recolección de información de consumo de energía. Esta solución, denominada oficialmente como Sistema de Monitoreo y Gestión Energética XYMA. AMR-ELECTRICITY, se fue expandiendo desde las instalaciones del MININT en La Habana hasta tomar dimensión nacional. Para la realización de esta tarea se tomó como fuente de información primaria la infraestructura de metros contadores inteligentes desplegada por la Empresa Eléctrica a los que se le acopló una computadora de placa reducida o “Single Board Computer”.

Este sistema ha logrado superar la prueba del tiempo obteniendo buenos resultados. A pesar de ello, se han presentado algunos problemas que llevaron al grupo de desarrollo a incorporar elementos de medición más robustos y versátiles que le permitieran desligarse del tipo de metro que brinda la Empresa Eléctrica. Esto se debe fundamentalmente a que si se instalaba otro metro inteligente que no estuviera dentro de la gama de drivers desarrollados, se hacía necesario el desarrollo de un nuevo driver para el equipo en cuestión. Esto, unido a la necesidad de una mayor cantidad de variables eléctricas y de mediciones más exactas, llevó a la incorporación de metros inteligentes de distintas empresas tales como SATEC, Schneider Electric, Circutor o Siemens. Algunos de estos equipos aparecen en la figura 1-6.



Figura 1 - 6. Metros inteligentes incorporados al sistema XYMA. AMR-ELECTRICITY.

Con la incorporación de estos equipos, se hizo necesario modificar la arquitectura prevista para el sistema quedando como aparece en la figura 1- 7. Con ella se garantiza que no existan pérdidas en las lecturas de las variables seleccionadas para su monitoreo en tiempo real. Esto es un elemento importante para un sistema que brinde seguimiento en entidades geográficamente distantes teniendo en cuenta que

en Cuba los problemas de conectividad y de cortes en el fluido eléctrico pueden ocurrir con frecuencia afectando las comunicaciones. Esto se logra gracias a que desde los medidores inteligentes hasta las capas más altas de la arquitectura todos los elementos poseen capacidades de almacenamiento suficiente como para garantizar que no existan pérdidas en los datos por espacio largos de tiempo.

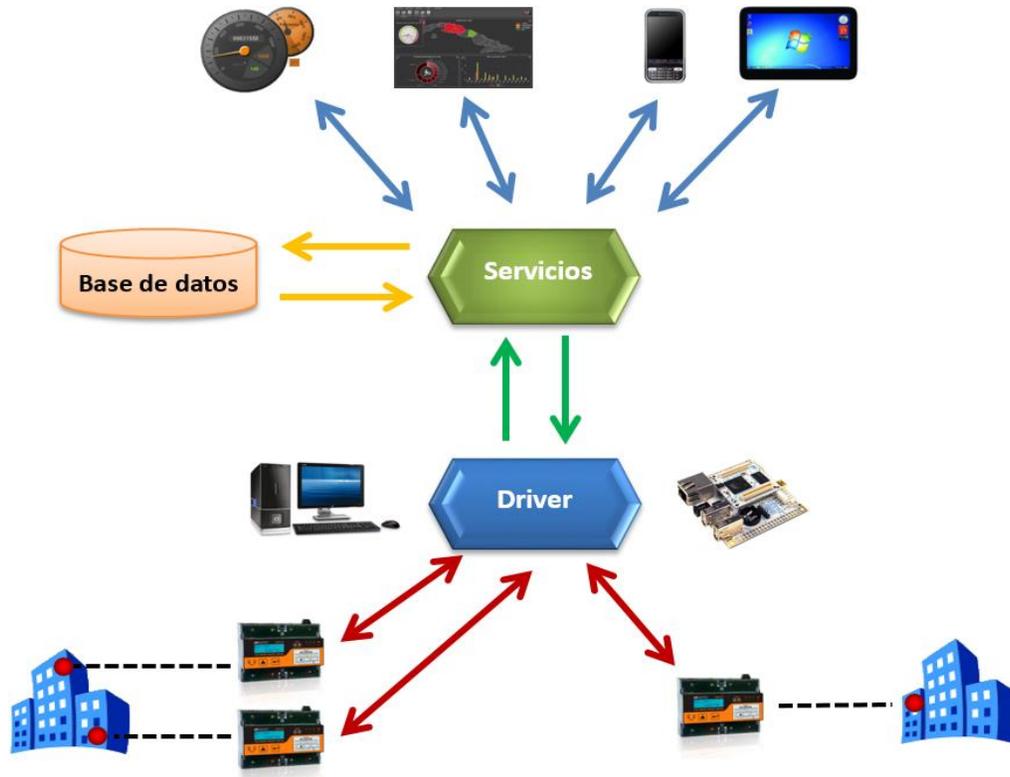


Figura 1 - 7. Arquitectura del sistema XYMA. AMR-ELECTRICITY

La arquitectura prevista está dividida en 4 capas principales:

- La primera capa está conformada por los equipos de medición inteligentes, los cuales están distribuidos en la instalación según las necesidades de los usuarios y las posibilidades que brinda el sistema. Esta es una estructura arbórea en la que un medidor toma las lecturas de toda la instalación, mientras que los otros están formando sectores dentro de la misma.
- En una segunda capa está el driver el cual posee dos variantes de instalación. Una destinada a aquellas instituciones que poseen una infraestructura en la cual exista una computadora en servicio constante. En lugares donde no se tienen con estas condiciones, se instala una SBC que posee una variante en Linux de esta aplicación. Su objetivo es gestionar la toma de la información de cada metro y enviarlo a las capas superiores, entre otras funciones.
- En una tercera capa están emplazados los servicios Web que brinda el sistema. Estos permiten, entre otras tareas, incluir las lecturas en la base de datos, presentar las lecturas en tiempo real para dispositivos móviles o gadget para Windows y consumir la información de la base de datos.

- En una cuarta capa están todas aquellas aplicaciones que se utilizan como interfaz usuario para presentar la información tanto de la base de datos como de las lecturas en tiempo real.

Otro elemento a destacar es la posibilidad de sectorizar la instalación de manera que se cuente con datos no solo globales sino también un desglose en función del interés del usuario final. Gracias a esto se cuentan con estadísticas en tiempo real e histórico del comportamiento energético de la empresa y de sus sectores fundamentales por separado. Esto hace posible obtener datos detallados de los problemas detectados para realizar estudios de eficiencia energética e identificar medidas para la reducción de sus costos. Esto logra que la empresa sea preactiva en el ahorro de energía, evitando imprevistos. Conocer que subsistema está consumiendo por encima de lo planificado o presenta alguna situación fuera de lo normal además de permitir el mantenimiento efectivo de los equipos, alarga su vida útil y evita gastos energéticos innecesarios que se traduce en un menor impacto ambiental.

1.7 Conclusiones parciales

Luego de realizar un análisis del estado del arte de los temas ligados a la gestión energética y a los sistemas desarrollados para su monitoreo y control, se arriban a las siguientes conclusiones parciales:

- El escenario energético actual, con el previsible agotamiento de los combustibles fósiles y la necesidad de las empresas de elevar su competitividad, unido al desarrollo de los medidores inteligentes, ha impulsado el crecimiento del mercado de los sistemas de gestión de energía, como herramienta fundamental e indispensable para la mejora del desempeño energético.
- Este desarrollo se ha visto catalizado también por la necesidad ineludible por parte de los estados de tomar acciones debido a las tendencias preocupantes en el deterioro medio ambiental, lo que ha provocado el surgimiento de normativas y convenios internacionales en busca de revertir esta situación. Ejemplo de ello es la aparición de la norma internacional ISO 50001.
- Los sistemas de gestión de energía que coexisten tanto en el mercado nacional como internacional ayudan a los especialistas en la organización y presentación de la información a través de gráficos y tablas tanto de lecturas en tiempo real como de registros históricos. De ellos, pocos son los que se adentran en hacer análisis de los datos de manera de brindar una información más completa de los problemas detectados. Este es un nicho de utilidades importante que no se explota adecuadamente.
- Muchas entidades cubanas ligadas al desarrollo de software han comenzado a impulsar soluciones con el objetivo de controlar distintos tipos de portadores energéticos. Uno de los sistemas de gestión energética creados dentro de fronteras con potencialidades suficientes como para incluir un módulo de diagnóstico energético es el XYMA. AMR-ELECTRICITY, creado por la empresa DATYS.

Capítulo 2 Módulo para el Diagnóstico Energético

En este capítulo se describen los elementos que componen el Módulo para el Diagnóstico Energético del sistema XYMA. AMR-ELECTRICITY. Este módulo está dividido en 3 bloques de análisis los cuales incluyen todos los reportes que se confeccionan con la información disponible. El tercero de estos bloques, el destinado a los datos del medidor inteligente, no está disponible para aquellas entidades que no cuenten con estos equipos acoplados a su línea de alimentación. En la figura 2-1 se muestra como fluye la información para la confección de cada uno de los reportes.

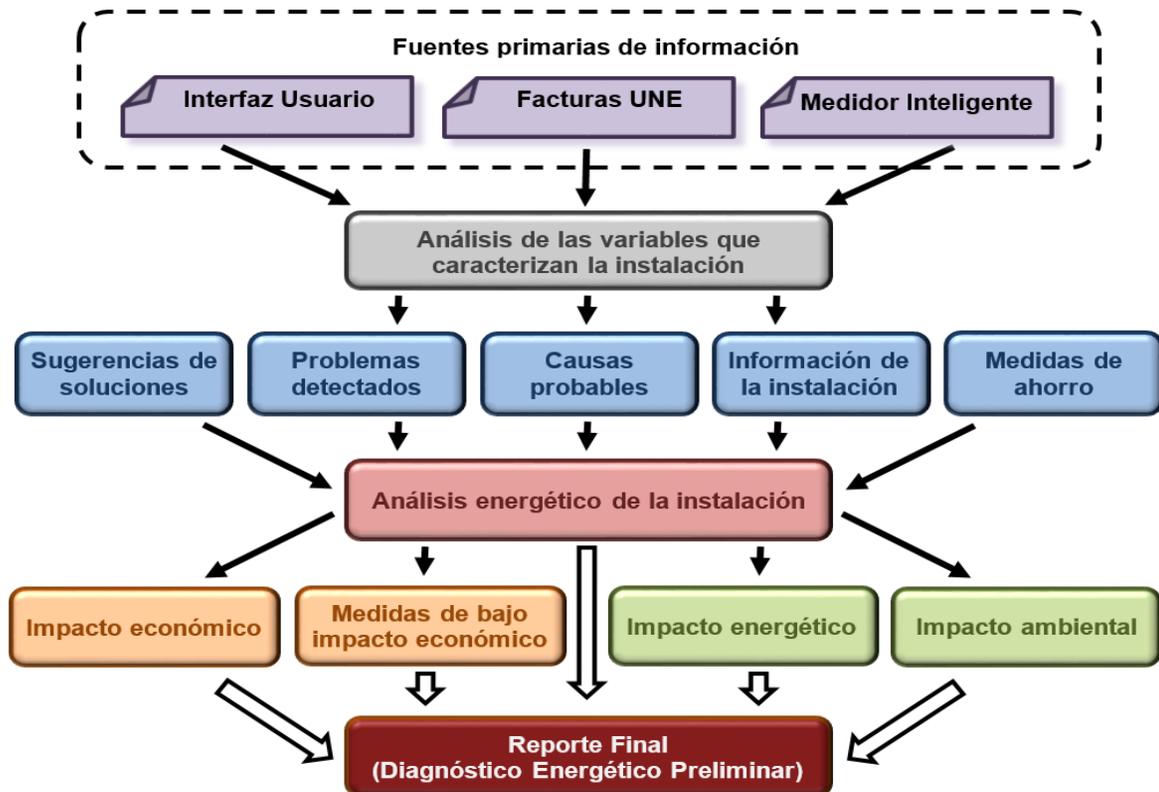


Figura 2 - 1. Flujo de la información en el Módulo de Diagnóstico Energético

Como se aprecia, toda la información se obtiene de los datos suministrados por el usuario, ya sea a través de la Web o de las facturas eléctricas, y de las lecturas de los medidores inteligentes desplegados. Esta información puede ser una lectura actual o un dato recuperado de la base de datos del sistema. Estos datos van pasando progresivamente por distintas capas de análisis hasta que se obtiene toda la información necesaria para la confección del informe que llega al usuario.

2.1 Bloque de caracterización energética de la instalación

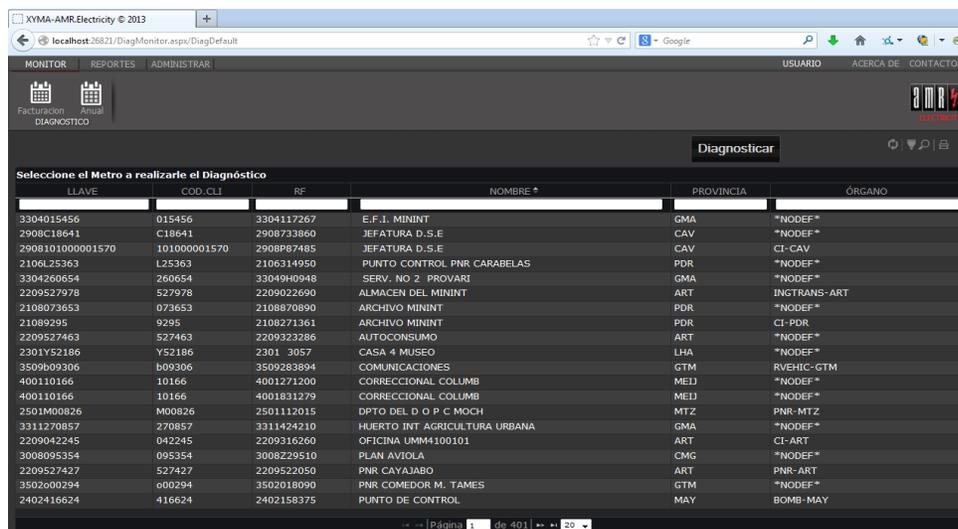
Este primer bloque de reporte está destinado a proveer al especialista de una descripción de los elementos generales de la instalación y una caracterización de la gestión energética. Estos elementos dan una panorámica de cómo es el comportamiento de la entidad en condiciones normales.

Para caracterizar la gestión energética se tienen en cuenta los elementos analizados anteriormente para las fases de planificación y verificación de la norma ISO 50001 con el fin de dotar al especialista de las herramientas que necesita a la hora de desarrollar una revisión energética. Aunque este módulo se centra en detectar problemas en el uso de la electricidad, no es posible aspirar a instaurar un sistema de gestión energética que funcione eficientemente sin establecer una línea de base de comportamiento, determinar los indicadores de desempeño energético y tener claros los objetivos y planes de acción necesarios para alcanzar los resultados esperados de acuerdo a las oportunidades de mejora y su política energética. Sin esto es imposible cuantificar la relación entre el consumo de energía eléctrica y la producción, los servicios u otros fines de la empresa que pretenda mejorar su eficiencia energética.

Para lograr resultados medibles relacionados con la eficiencia en el uso de la energía es necesario contar con estos elementos, puesto que si alguno no está funcionando bien, todos aquellos estudios y las medidas que se deriven de estos no obtendrán los efectos esperados. La planificación energética debe ser coherente con la política energética que se siga en la institución y debe conducir a actividades que mejoren de forma continua el desempeño energético; con la participación efectiva de todas aquellas personas que formen parte activa en la instalación. Seguidamente se presentan en detalle todos los análisis que conforman este primer bloque.

2.1.1 Aspectos generales de la entidad

Algunos de los datos que se presentan en este reporte están dentro de la base de datos del sistema puesto que son suministrados en la factura eléctrica mensual que provee la UNE. Alguno de ellos son, el nombre de la entidad, la provincia a la que pertenece, la llave de la UNE, el número de cuenta bancaria, el organismo o el tipo de tarifa aplicada. Estos son incluidos de manera automática al reporte con solo seleccionar la entidad que se desea diagnosticar. Una imagen de este paso se puede ver en la figura 2-2.



LLAVE	COD_CLI	RF	NOMBRE *	PROVINCIA	ÓRGANO
3304015456	015456	3304117267	E.F.I. MININT	GMA	*NODEF*
2908C18641	C18641	2908733860	JEFATURA D.S.E	CAV	*NODEF*
2908101000001570	101000001570	2908P87485	JEFATURA D.S.E	CAV	CI-CAV
2106L25363	L25363	2106314950	PUNTO CONTROL PNR CARABELAS	PDR	*NODEF*
3304260654	260654	33049H0948	SERV. NO 2 PROVARI	GMA	*NODEF*
2209527978	527978	2209022690	ALMACEN DEL MININT	ART	INGTRANS-ART
2108073653	073653	2108870890	ARCHIVO MININT	PDR	*NODEF*
21089295	9295	2108271361	ARCHIVO MININT	PDR	CI-PDR
2209527463	527463	2209323286	AUTOCONSUMO	ART	*NODEF*
2301Y52186	Y52186	2301 3057	CASA 4 MUSEO	LHA	*NODEF*
3509b09306	b09306	3509283894	COMUNICACIONES	GTM	RVEHIC-GTM
400110166	10166	4001271200	CORRECCIONAL COLLUMB	MEIJ	*NODEF*
400110166	10166	4001812799	CORRECCIONAL COLLUMB	MEIJ	*NODEF*
2501M08026	M08026	2501112015	DPTO DEL D O P C MOCH	MTZ	PNR-MTZ
3311270857	770857	3311424210	HUERTO INT AGRICULTURA URBANA	GMA	*NODEF*
2209042245	042245	2209316260	OFICINA UMM4100101	ART	CI-ART
3008095354	095354	3008229510	PLAN AVIOLA	CMG	*NODEF*
2209527427	527427	2209522050	PNR CAYAJABO	ART	PNR-ART
3502000294	000294	3502018090	PNR COMEDOR M. TAMES	GTM	*NODEF*
2402416624	416624	2402158375	PUNTO DE CONTROL	MAY	BOMB-MAY

Figura 2 - 2. Selección de la entidad a diagnosticar

Aunque estos elementos constituyen una información valiosa, no reflejan la totalidad de los datos necesarios. Es por ello que a través de la Web se interactúa con el especialista con el fin de incorporar el resto de la información necesaria. Hay que destacar que en esta Web se concibió un espacio para que el especialista pueda incluir en el reporte todos aquellos aspectos que pudieran ser de importancia para análisis posteriores. Al finalizar cada estudio es posible consultar el reporte generado en formato PDF.

2.1.2 Caracterización de la gestión energética de la empresa

La gestión energética como subsistema de gestión “abarca las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la organización la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas” [14]. El nivel de gestión energética alcanzado en la organización puede ser caracterizado utilizando diversos métodos y herramientas. En este caso han sido divididos en ocho aspectos claves de la gestión energética: Política Energética, Gerencia, Gestión Tecnológica y Ambiental, Divulgación, Sistema de Información, Planeación y Producción, Mantenimiento y aseguramiento de la calidad, Contabilidad y Finanzas e Inversiones.

Para caracterizar el nivel de gestión energética de la empresa se utilizan una serie de preguntas las cuales deben ser evaluadas con calificaciones de 1 a 5 por el especialista. La totalidad de las preguntas separadas por tema pueden consultarse en el Anexo 2. Estas calificaciones deben reflejar cómo se comportan estos aspectos en la instalación, teniendo a “5” como la mejor calificación posible en cada caso. Al terminar las encuestas se realiza una calificación final del tema. Cada una de estas calificaciones se presenta en el reporte en una tabla y en un gráfico de columnas como se muestra en la figura 2-3.

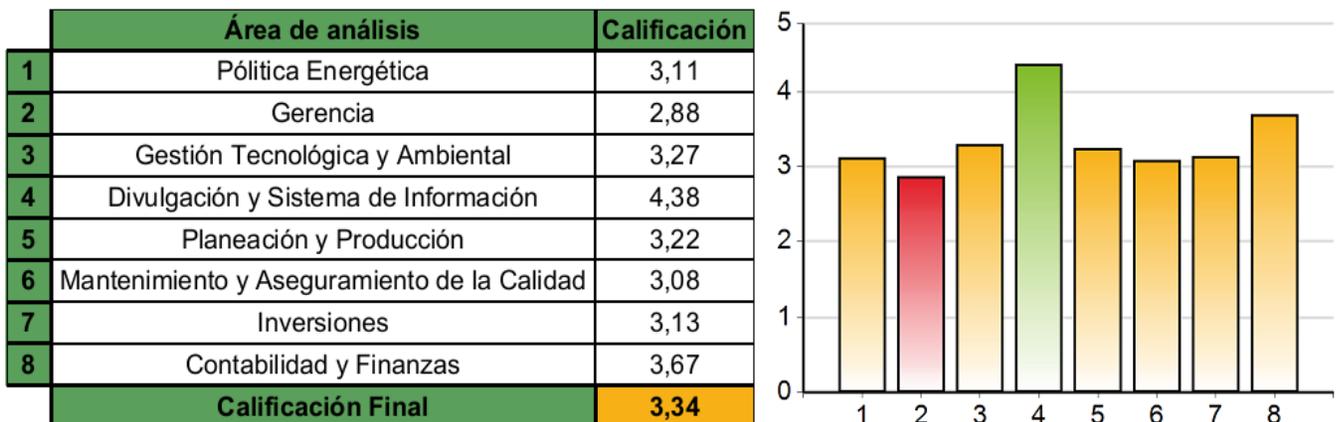


Figura 2 - 3. Encuesta sobre la gestión energética en la empresa

Tanto la “Calificación Final” como cada una de las columnas del gráfico toman un color determinado en dependencia del rango donde esté la calificación. Esta es una herramienta muy útil para realizar inspecciones visuales de cada tema y llevarse un criterio inicial de cada una de ellas. El color rojo está destinado a aquellas calificaciones que estén por debajo de tres, el amarillo para las que se encuentren entre 3 y 4, mientras que el verde se utiliza para aquellas que superan los 4 puntos.

Luego de este análisis se brindan un grupo de consideraciones y conclusiones a destacar en correspondencia con los resultados obtenidos como son, las áreas de menor calificación o las características que presenta la empresa en cuanto a la gestión energética. Estas conclusiones junto a las sugerencias que se le dan al usuario se obtienen a través de la selección de las preguntas que obtuvieron menores resultados y que reflejan temas de mayor importancia. Además de estos elementos se da una caracterización del nivel de competencia en la gestión energética teniendo en cuentas las calificaciones dadas a cada pregunta. Al igual que en cada uno de los reportes de este módulo, se le da la posibilidad al especialista de incluir sus criterios en un espacio reservado para este fin.

2.1.3 Relación entre los portadores energéticos

Para conocer cómo están estructurados los distintos portadores energéticos que se utilizan en la institución se presenta en la Web una tabla donde deben seleccionarse los portadores sin orden específico, dígame fósiles o no. Una vista de esta tabla aparece en la figura 2 - 4. De forma automática en la columna "Unidad de medida" aparece la unidad asociada a cada portador. De existir otro portador que no se encuentre entre los enlistados, el usuario tiene la posibilidad de incluirlo en las filas en blanco. En ese caso además del nombre del portador, debe indicarse la cantidad consumida, el costo y lo que representa este consumo en toneladas equivalente de petróleo (TEP).

Portador	Unidad de medida	Cantidad	Costo (\$)	TEP	Porcentaje TEP (%)	Porcentaje Costo (%)
<input type="text" value=""/>	-	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	0	0	0
<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>	<input type="text" value=""/>		

Figura 2 - 4. Selección de los portadores energéticos de la instalación

El consumo de cada portador energético de los enlistados es convertido de forma automática a toneladas equivalentes de petróleo, a partir de los factores de conversión que aparecen en el Anexo 3 tomados de los datos publicados por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) que son los utilizados en Cuba [37]. Con el consumo de los distintos portadores energéticos convertidos a TEP es posible compararlos entre ellos y ver cuál o cuáles son los más representativos en la estructura energética de la entidad. Para ello se utiliza un diagrama de Pareto tanto para los consumos como para los costos asociados ellos.

Estos diagramas se basan en el principio enunciado por Vilfredo Pareto de que "el 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan" [38]. Así es posible identificar los portadores energéticos a los cuales debe prestársele mayor atención y tomar decisiones en función de prioridades. En la figura 2-5 se observa cómo se refleja en el reporte los diagramas de Pareto correspondiente a los consumos (izquierda) y los costos (derecha).

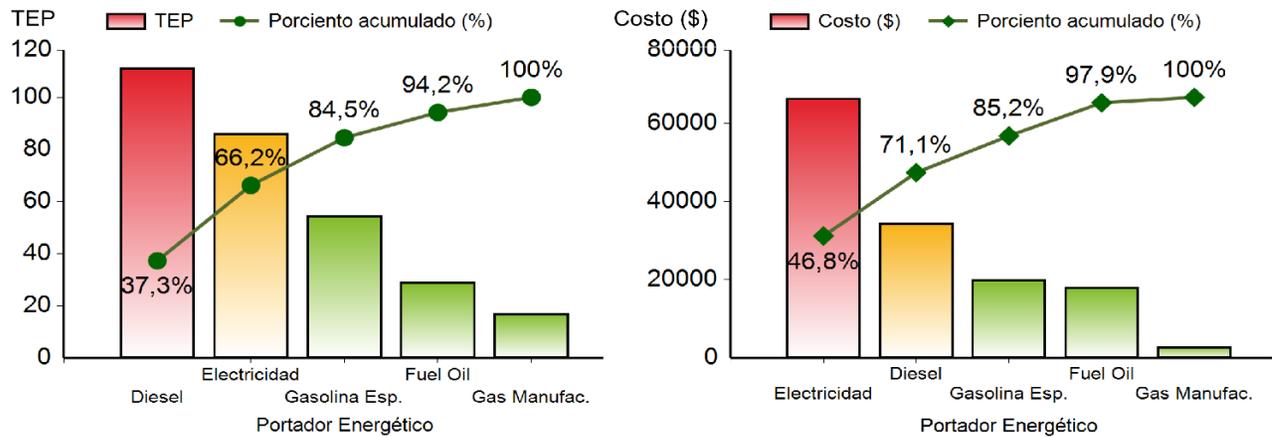


Figura 2 - 5. Pareto de los portadores energéticos de la instalación

Para comprender correctamente los gráficos anteriores hay señalar que el portador energético más importante es marcado con su columna en color rojo. Las columnas del resto de los portadores cuya suma porcentual acumulativa está por debajo de 80% es marcado con el amarillo. Estos, junto al portador marcado en rojo, son seleccionados como los de mayor importancia para la entidad. Las columnas del resto de los portadores son marcadas con el color verde. Del análisis anterior, además de los elementos reflejados, al usuario se le brindan las siguientes conclusiones:

- Cuánto representan en su estructura de costos los portadores energéticos seleccionados dentro del grupo de los más importantes para la entidad.
- Cuál es el portador más importante si se tiene en cuenta ambos criterios (consumo y costo).
- Qué porcentaje representa la electricidad en el total de gastos, cuál es su consumo anual y cuanto equivale este en toneladas de CO₂ emitidas a la atmosfera.

Luego de tener listos todos estos elementos se le da la posibilidad al especialista que incluya en el reporte sus propias conclusiones como parte de los análisis realizados sobre el tema.

2.1.4 Herramientas para determinar los indicadores de desempeño energético

Determinar los indicadores de consumo de portadores energéticos es un paso indispensable para implantar un sistema de gestión energética. Sin estos, es imposible cuantificar la relación entre el consumo de energía y la producción o los servicios de la empresa que pretenda mejorar su eficiencia energética. La caracterización energética del proceso permite a la empresa definir indicadores propios, los que sirven como base de comparación para controlar y reducir las pérdidas energéticas.

El desempeño energético se define como los “*resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso y consumo de la energía*”. Mientras que los indicadores de desempeño energético se expresa como “*el valor cuantitativo del desempeño energético tal como lo defina la organización.*” [18] Este reporte brinda las herramientas necesarias para que el especialista cuente con estos datos de su

instalación. Para ello en la Web se le pide que introduzca los datos del parámetro productivo o de servicio que desee relacionar con el consumo de energía. Como se ve en la figura 2-6, en esta página aparecen dos tablas en las cuales se encuentran ya rellenos los consumos eléctricos del período base y el que es objeto de análisis.

Meses Seleccionados	Período Base		Período Estudiado	
	Consumo (kWh)	Producción	Consumo (kWh)	Producción
	0		0	

Figura 2 - 6. Consumos eléctricos del período base y el actual

La variable a escoger para relacionar con el consumo eléctrico dependerá del tipo de entidad que se esté estudiando y del criterio del especialista. En una fábrica la variable pudiera ser toneladas de producción, mientras en una instalación de oficinas pudiera ser las horas-hombre trabajadas. Escoger la variable adecuada obedecerá en gran medida de la experiencia del especialista en gestión energética. Para el sistema, independientemente del tipo de variable que se relacione, se denominará “Producción”. En el apartado que posee el usuario para incluir sus conclusiones dentro de este reporte es recomendable explicar brevemente cual de la variable escogida y las razones por las que fue seleccionada.

2.1.4.1 Gráfico de consumo y producción en el tiempo

El gráfico 2-7 muestra la variación simultánea del consumo eléctrico y la variable escogida en el período de estudio. Esta constituye una de las herramientas que más información brinda, ya que vislumbra períodos en que se producen comportamientos anómalos en la variación del consumo con respecto a la variable seleccionada.

Mes	Consumo Eléctrico (KWh)	Variación Consumo (%)	Producción	Variación producción (%)
Enero	11632,00	0,00	67540,00	0,00
Febrero	16147,00	-38,82	58600,00	13,24
Marzo	14203,00	12,04	65560,00	-11,88
Abril	18243,00	-28,44	63420,00	3,26
Mayo	19277,00	-5,67	66000,00	-4,07
Junio	23190,00	-20,30	68300,00	-3,48

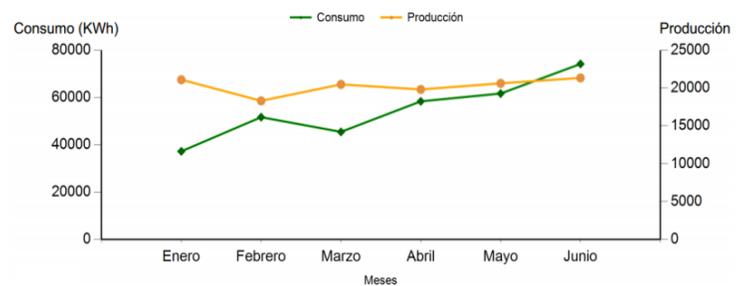


Figura 2 - 7. Tabla y gráfico de consumo y producción en el tiempo

Para comprender mejor este gráfico es necesario conocer que generalmente debe ocurrir que un incremento en los valores de la variable seleccionada debe venir asociado a un incremento del consumo de energía ligada al proceso y viceversa. Esta información es ofrecida en el reporte tanto de forma tabular como gráfica, haciendo más fácil la inspección visual de los fenómenos que se pudieran presentar. En la tabla existen dos columnas que son calculadas de manera automática, estas son la “Variación Consumo (%)” y la “Variación producción (%)”, cuyos valores se determinan con la siguiente ecuación:

$$\text{Variación}_i = \frac{\text{Valor}_i - \text{Valor}_{i-1}}{\text{Valor}_{i-1}} * 100 \quad (2 - 1) \quad \text{donde: } \begin{array}{l} \text{Valor}_{i-1} \quad \text{Valor anterior} \\ \text{Valor}_i \quad \text{Valor actual} \end{array}$$

La variación será negativa si se disminuye el consumo y positivo si se incrementa de un período a otro. El primer período no tiene valor anterior por lo que se ignora el porcentaje de variación. Seguidamente en el reporte incluyen algunas conclusiones teniendo en cuenta los máximos y mínimos tanto del consumo como de la producción y las fechas en que ocurrieron, el promedio de ambas variables, su tendencia, entre otros elementos.

Las tendencias pueden tomar 3 valores (“Incremento”, “Decremento”, “Estable”) los cuales se determinan a través del análisis de la pendiente de la recta ($y = mx + n$) que se obtiene a través del método analítico de los mínimos cuadrados. Además de las conclusiones anteriores, aparece una tabla donde se llama la atención sobre posibles comportamientos anómalos en los distintos meses. Las anomalías detectadas por el sistema son [39], [40]:

- Signos de la variación del consumo y de la producción diferentes.
- Signos iguales, pero el valor de variación entre ambos parámetros es superior al 160% de la tasa media de variación de esta variable.
- Signos iguales, pero el cambio en la producción o el consumo supera el 160% de su tasa media variación.

Una vez que se determinan los meses que presentan problemas, se calcula el porcentaje de éstos sobre el total de la muestra, lo que se conoce como porcentaje de fiabilidad. Este parámetro permite establecer si el total de la muestra cuenta con la validez necesaria para realizar la caracterización energética. Si el porcentaje de fiabilidad es superior al 80% se puede considerar como “Buena” la muestra, si está entre 55% y 80% es “Regular” mientras que valores inferiores se clasifica como “Deficiente”. Las observaciones que el especialista desee que queden reflejadas en el reporte puede incluirlas a través de la Web.

2.1.4.2 Diagramas de dispersión y correlación

Luego de conocer las características de la muestra escogida, se procede a calcular la correlación existente entre ambos grupos de datos. El diagrama de dispersión es la herramienta utilizada para determinar con un buen nivel de certeza la relación entre dos variables. Aprovechando las posibilidades de la Web, la representación se brinda de forma gráfica junto con los cálculos de correlación, lo que hace más fácil visualizar e interpretar los resultados.

Una representación del gráfico de dispersión y correlación se muestra en la figura 2-8 donde se puede ver, en color naranja, la línea que representa la regresión lineal existente entre los puntos correspondientes a cada uno de los meses del período estudiado (Línea base).

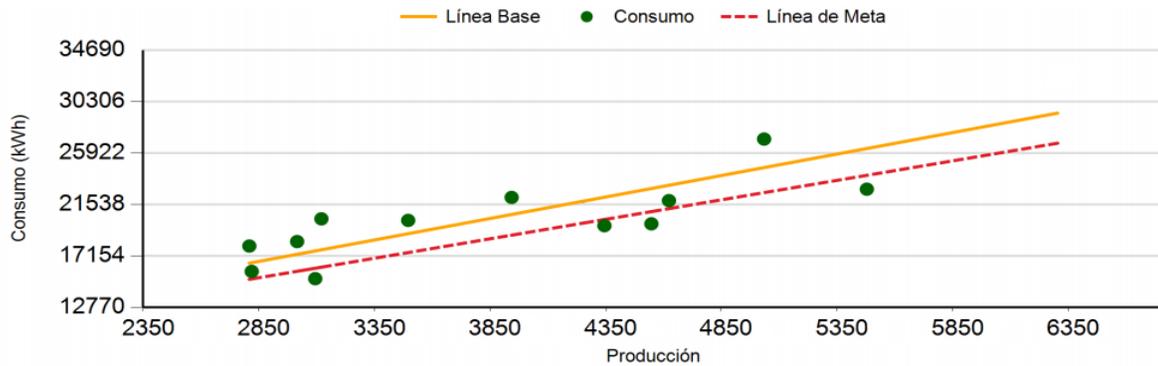


Figura 2 - 8. Gráfico de dispersión y correlación

Esta herramienta proporciona información que puede señalar, pero no por ello probar, una relación causal; es decir, no predice relaciones causa–efecto, sino que muestra la intensidad de dicha relación. Esto se debe a que puede haber otra variable que afecte la relación o que posea una correlación mayor. No obstante, la práctica demuestra que si se aplican medidas para mejorar los indicadores de consumo a una relación por encima del 75% se obtienen buenos resultados.

Entendiéndose por correlación “el grado de relación existente entre dos variables expresado entre 1 y -1” [41], un coeficiente de 0 indicaría independencia total entre ellas. A su vez, un coeficiente de 1 ó -1 señalaría una dependencia funcional, positiva o negativa según el signo del coeficiente. En los valores intermedios a cada valor de una le corresponderán varios valores de la otra. En cuyo caso se debe investigar el grado de correlación y que otras variables pudieran estar afectando la dependencia.

Para la obtención de la línea base se calcula la pendiente “ m ” y el valor de la variable dependiente (Consumo) cuando la variable independiente (Producción), “ n ”, vale 0, que en este caso no es más que la energía no asociada. Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones [42]:

$$\mathbf{m} = \left(\frac{(1/N) * \sum_1^N (X_i - X_m) * (Y_i - Y_m)}{\left(\frac{1}{N}\right) * \sum_1^N (X_i - X_m)^2} \right) \quad (2 - 2) \quad \text{donde: } N \text{ Número de muestras}$$

X_m, Y_m Consumo de energía [kWh] y Producción media

$$\mathbf{n} = Y_m - (\mathbf{m} * X_m) \quad (2 - 3)$$

Con estos resultados se obtiene el índice de correlación “ r^2 ” con la ecuación [42]:

$$r^2 = \left(\frac{(1/N) * \sum_1^N (X_i - X_m) * (Y_i - Y_m)}{\sqrt{\left(\left(\frac{1}{N}\right) * \sum_1^N (X_i - X_m)^2\right) * \left(\left(\frac{1}{N}\right) * \sum_1^N (Y_i - Y_m)^2\right)}} \right)^2 \quad (2 - 4)$$

En el gráfico 2-8 visto anteriormente, aparece también la línea meta marcada con líneas discontinuas de color rojo. La cual es la regresión lineal de aquellos puntos que se encuentran por debajo de la línea base y que corresponden a un comportamiento más eficiente del proceso. Esto quiere decir que existen meses en los que el consumo fue menor para ese nivel de producción, por lo que se deben adoptar medidas

para que se convierta en el comportamiento habitual de la empresa. Es por ello que esta línea será a donde debe llegarse luego que se apliquen las medidas de ahorro correspondiente haciendo mejorar los indicadores de eficiencia. Junto a estos elementos, datos tales como el valor de correlación, la pendiente, las ecuaciones de las líneas de base y meta, el valor de la energía no asociada al proceso (E_{na}) y que porcentaje representa ($E_{\%na}$) conforman los elementos que se ofrecen como parte del reporte. El porcentaje que representa la E_{na} es calculado a través de la ecuación siguiente [43]:

$$E_{\%na} = \left(\frac{E_o}{E_m} \right) * 100\% \quad (2 - 5) \quad \text{donde: } E_{na} \text{ Energía no asociada [kWh]} \\ E_m \text{ Consumo medio de energía [kWh]}$$

Este elemento cobra mucha importancia puesto que esta energía es la que se utiliza en procesos que no están ligados a la producción propiamente y que se consume independientemente del valor de esta. Es por ello que debe mantenerse siempre en los valores más bajo posible. Al usuario se le brindan un grupo de factores que pudieran estar ligados al consumo de este tipo de energía, como una forma de dar ideas de donde actuar para controlar sus niveles. Igual que en los casos anteriores, el usuario tiene la posibilidad de incluir sus conclusiones a este reporte a través de la Web.

2.1.4.3 Gráfico de control

Luego de conocer la relación entre las variables se evalúa la estabilidad del proceso, para lo cual se utiliza un gráfico de control. Esta herramienta permite ver el comportamiento de la variable en función de ciertos límites establecidos, como se aprecia en la figura 2-9. Este tipo de análisis resulta muy útil para detectar alteraciones o anomalías. La comparativa se logra con el establecimiento de un valor o línea de base energética con la media aritmética de los datos del período anterior. Esta referencia cuantitativa proporciona la base de comparación del desempeño energético para los datos del período analizado.

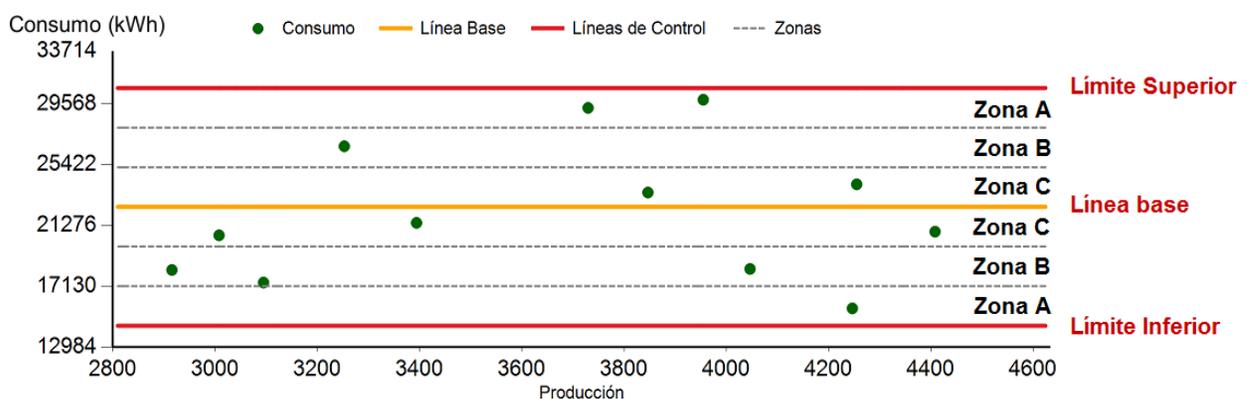


Figura 2 - 9. Gráfico de control

El rango de control se forma con variaciones de valor 3σ por encima o por debajo del valor de la línea base, formando 3 zonas de igual tamaño. La desviación estándar (σ) se obtiene a través de la ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2}{n-1}} \quad (2 - 6) \quad \text{donde } X: \text{ Valor base}$$

X_i : Valor de la muestra del período base o anterior

Al concluir estos cálculos se presentan las conclusiones sobre la estabilidad del proceso, para lo cual se analiza la posición de los puntos relativo a los distintos límites y a la línea base. Es posible decir que un proceso es inestable si:

- Existe uno o más puntos fuera de los límites de control
- 2/3 de puntos consecutivos se encuentran a un mismo lado de la línea central en la Zona A.
- 4/5 de puntos consecutivos se están a un mismo lado de la línea central en la Zona B o más allá.
- 6 puntos consecutivos ascendieron o descendieron. Aunque esta última puede considerarse como un comportamiento deseado.
- 9 puntos consecutivos dentro de la Zona C.

La presencia de patrones inusuales, aun cuando todos los puntos se encuentren dentro de los límites de control, puede ser evidencia de un proceso descontrolado o de cambios en la distribución del mismo durante el tiempo en que sucedió el evento. Este escenario puede ser aviso de que existen condiciones no favorables que deben ser corregidas. Los criterios para determinar si existe algún comportamiento anómalo pueden consultarse en el Anexo 4. En caso de existir alguno de estos eventos, se incluyen en el reporte los detalles relativos al mismo y sugerencia de cómo proceder para resolverlo.

2.1.4.4 Diagrama de Índice de consumo vs producción

Este diagrama se realiza después de haber obtenido la línea base y el gráfico consumo de energía (E) contra producción (P). La función que describe el índice de consumo (IC) se obtiene como:

$$IC = \left(\frac{E}{P}\right) = \left(\frac{m \cdot P + E_o}{P}\right) = m + \frac{E_o}{P} \quad (2 - 7)$$

Este parámetro posee una relación directa con la producción realizada. En condiciones normales, si la producción disminuye, debe disminuir el consumo total de energía; sin embargo, el costo de la energía por unidad de producto aumenta, lo que es un comportamiento negativo en la eficiencia. Esto sucede porque hay una menor cantidad de unidades producidas soportando el consumo energético fijo o no asociado a la producción. Por otro lado, si la producción aumenta, disminuyen los costos de energía por unidad de producto, comportamiento este asintótico al valor límite dado por la pendiente (m) de la ecuación de consumo energético contra producción. Esta herramienta permite establecer pautas productivas previendo el rendimiento energético que se debería obtener, sobre bases comparativas del desempeño energético reciente [40].

En el reporte aparece una tabla con los valores reales del consumo, la producción y el índice de consumo, además de los valores teóricos del consumo y el índice de consumo por meses. El consumo teórico se obtiene sustituyendo los niveles de producción en la ecuación de la línea base obtenida anteriormente y con este valor el índice de consumo teórico. Con estos datos se confecciona un gráfico como el que se presenta en la figura 2-10.

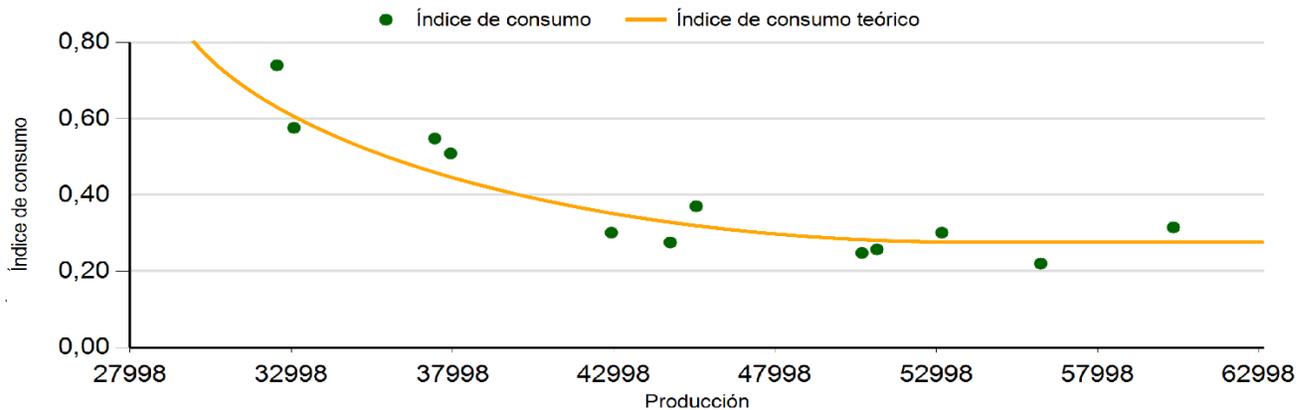


Figura 2 - 10. Gráfico de índice de consumo contra producción

En este diagrama hay un valor crítico a partir del cual comienza a elevarse apreciablemente el índice de consumo para bajos niveles de producción, por lo que constituye una referencia de a partir de que niveles productivos el proceso es energéticamente eficiente. Iterando de cero al valor máximo de producción de la muestra se calcula para cada uno de los valores la variación de la pendiente. El valor crítico de producción será el primero que cumpla que la variación de la pendiente es igual o menor a 5% [13].

Valores de IC por debajo de la curva representa comportamientos eficientes del proceso, los cuales constituyen puntos de análisis para conocer las condiciones en que se logrados estos resultados. El caso contrario evidencia que en los puntos analizados existe un potencial de disminución del IC igual a la diferencia entre el índice real y el estandarizado para igual producción. Con estos análisis se pueden establecer las metas de reducción del índice teniendo una idea clara de cómo se comportará el proceso frente a cada acción que se tome.

Los datos anteriores son los que se le brindan al especialista como conclusiones de este análisis. Con ellos se tienen los elementos para obtener el valor característico del rendimiento energético base para cada nivel de producción.

2.1.4.5 Gráfico de tendencia o de sumas acumulativas (CUSUM)

CUSUM es la abreviatura de "suma acumulada" ("*cumulative sum*" en inglés). Se trata de una fórmula usada para determinar el cambio gradual en una serie de datos con respecto al tiempo. Este incorpora directamente toda la información representando las sumas acumuladas de las desviaciones de los valores muestrales respecto de un valor objetivo [44].

En este caso se utiliza este tipo de gráfico para conocer el comportamiento de la tendencia de la empresa en cuanto a la variación del consumo eléctrico, con respecto al período base elegido anteriormente por el usuario. A partir de este diagrama puede determinarse cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha consumido en exceso con relación al comportamiento del período anterior; además de evaluar la efectividad de las medidas de ahorro de energía que pudieran haber sido aplicadas anteriormente. Para ello se le presenta al usuario en el reporte una tabla y gráfico con los resultados obtenidos, unido a un grupo de análisis y datos complementarios.

Tabla 2 - 1. Sumas acumulativas del consumo eléctrico de la entidad

Mes	Consumo (kWh)	Producción	Consumo teórico (kWh)	Dif. entre consumos (kWh)	CUSUM
Ene	17379	30950	20093,6	-2714,6	-2714,6
Feb	20600	30086	19731,5	868,5	-1846,1
Mar	23211	31216	20205,0	3006,0	3874,5
Abr	22540	43455	25333,1	-2793,1	212,9
May	25295	39442	23651,7	1643,3	-1149,8
Jun	21525	30439	19879,4	1645,6	3288,9

Para obtener la suma acumulativa en cada uno de los meses se adicionan las diferencias entre los consumos real y teórico del mes actual y la del anterior. Como muestra la siguiente expresión:

$$\text{CUSUM} = (\text{Consumo}_{\text{real}} - \text{Consumo}_{\text{teórico}})_i + (\text{Consumo}_{\text{real}} - \text{Consumo}_{\text{teórico}})_{i-1} \quad (2 - 8)$$

Si el proceso está bajo control, las diferencias son valores positivos y negativos alrededor de cero de forma que su suma es un valor próximo a este. Cuando el proceso sale fuera de control, los valores observados serán prácticamente todos positivos, y al acumularlos se ve un claro aumento en la pendiente. Este comportamiento también puede ocurrir en el sentido negativo. Con este criterio el sistema analiza cómo se está comportando el consumo de energía y si posee un crecimiento que pudiera provocar consumos excesivos o si están existiendo ahorros sostenidos para la empresa. Este y otros criterios le son entregados al especialista como parte del reporte. Antes de concluir el reporte se incorpora como parte de este los análisis y consideraciones del especialista.

2.1.5 Impacto ambiental de la empresa

El estudio del impacto ambiental de una organización permite cuantificar y generar un indicador de la marca que tiene sobre el cambio climático. Un estimado de este impacto se obtiene, según el Centro de Educación Ambiental de la Comunidad Valenciana (CEACV), “sumando el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, equipos motrices, productos y otros medios, en términos toneladas de CO₂ equivalente (tCO_{2e}); calculado multiplicando los datos de los consumos por factores de emisión.” [45]

Este apartado se centra en estimar y analizar las emisiones derivadas de la actividad asociada al consumo energético de la entidad y de la ejecución de sus actividades no productivas. Consiste básicamente en recopilar los datos referentes a los consumos directos e indirectos de materiales y energía de la organización y traducirlos en emisiones de CO₂ equivalentes con el fin de ofrecer un inventario de emisiones lo más completo posible. Esto tiene como objetivo concienciar a las entidades de la relación entre su desarrollo empresarial y el cambio climático, ayudándoles tanto en la fase de cálculo como en la elaboración de medidas para la reducción de emisiones de Gases de efecto Invernadero (GEI), que supondrá un descenso tanto en los costes energéticos como de su impacto en el cambio climático. Además permite a los especialistas tener valores tangibles en los que apoyarse a la hora de comparar datos con el paso del tiempo y con otras entidades.

La metodología utilizada es una adaptación de la herramienta que brinda la CEACV para este cálculo certificada con la norma ISO 14064: 2012 [46]. Esta fue adaptada en colaboración con el Ing. Serafín Huertas Alcalá de la citada entidad para las condiciones de las empresas cubanas. En este estudio también se considera la aportación de los consumos de las energías renovables (solar fotovoltaica, térmica, eólica o biomasa). En el caso de estas energías no hay emisiones directas, pero son datos que sirven para valorar las emisiones que se evitan. Los factores de emisión fueron obtenidos de la “*Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero*” [47] elaborada por la Oficina Catalana del Cambio Climático. Esta guía, que es actualiza anualmente, contempla datos de coeficientes de las distintas categorías de emisiones que pueden identificarse de acuerdo con los protocolos internacionalmente. En el caso de la electricidad, se tomaron los factores de emisión correspondientes al Mix Eléctrico publicado por la Agencia Internacional de Energía (*IEA, International Energy Agency*) para el año 2014. En el Anexo 5 puede consultarse un listado de los coeficientes de emisión utilizados.

En el reporte aparece una tabla, como se muestra la figura 2-11, que contiene las emisiones anuales relativas a cada portador energético existente en la instalación no utilizados para la transportación.

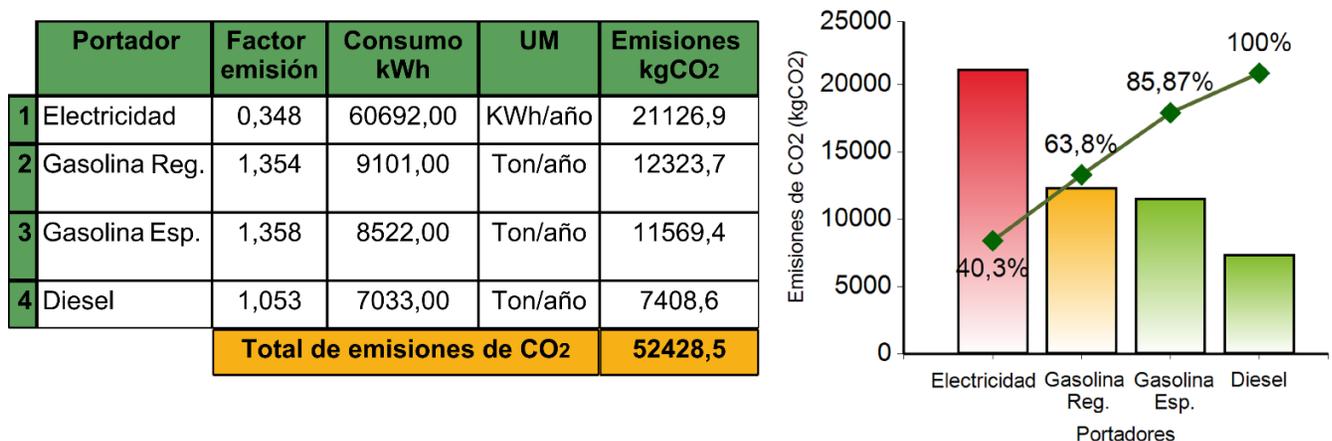


Figura 2 - 11. Emisiones de CO₂ por portador energético durante el año

El total de las emisiones de CO₂ de cada portador energético es representado en un diagrama de Pareto (figura 2-11 derecha) en el cual se marca en color rojo el de mayor importancia, en amarillo aquellos cuya suma porcentual está por debajo del 80% y el resto en color verde.

Seguidamente se incluye información relativa al uso que se tiene en la empresa de las energías renovables. Esta se confecciona a través de un menú desplegable que aparece en la Web con un grupo de fuentes renovables para ser escogidas (solar fotovoltaica, eólica, biomasa o térmica). En las primeras tres, solo debe incluirse cuanta energía eléctrica es generada por ese concepto. En el caso de la solar térmica se analiza cuanta electricidad se ha dejado de consumir al calentar agua utilizando calentadores solares. Al escoger esta opción, el sistema pide que se introduzca la temperatura media a la que el agua es calentada y la temperatura ambiente media del agua. Como promedio, en este tipo de sistema el agua es calentada hasta los 65°C mientras que la temperatura media del agua en Cuba es de 25°C [48], por lo cual son los valores por defecto que se ofrecen. Con esta información y conociendo el volumen utilizando es posible obtener cuánto se ha dejado de consumir por este concepto utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = m * C_p * \Delta T \quad (2 - 9) \quad \text{Considerando que:}$$

- El calor específico del agua (C_p) es 1 cal / g °C = 4,186 J / g °C
- La temperatura media del agua es 25 °C y la deseada es de 65°C
- 1 Litro de agua pesa 1 kg y 1kWh es igual 3,6*10⁶ J

En el caso de la energía solar fotovoltaica y la eólica no hay emisiones directas, mientras que en la biomasa, se considera que hay un balance nulo de emisiones ya que durante el crecimiento de la misma hubo una fijación de CO₂ atmosférico [49]. Estos datos sirven para hacer una valoración de las emisiones que dejan de emanarse frente a otras fuentes que ofrecen los mismos servicios y para conocer la relación en el uso de estas energías frente a las energías convencionales.

Posteriormente aparecen tabuladas las emisiones por consumo de energía eléctrica separado por meses y el porcentaje que representan del total emitido en el año (figura 2-12 izquierda). Esta información es también presentada de forma gráfica en un diagrama de pastel (figura 2-12 derecha).

Mes	Consumo kWh	Emisiones kg CO ₂	Porcentaje %
Ene	17379	13051,6	13,3
Feb	20600	15470,6	15,8
Mar	23211	17431,5	17,8
Abr	22540	16927,5	17,3
May	25295	18996,5	19,4
Jun	21525	16165,3	16,5

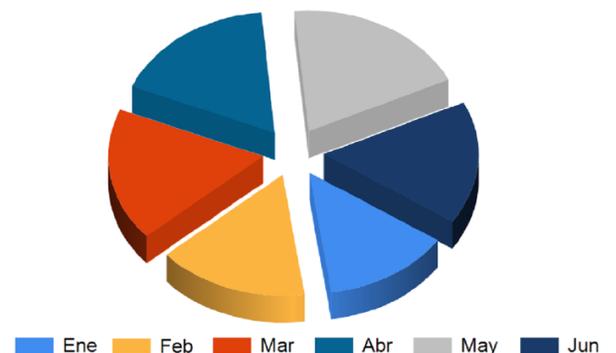


Figura 2 - 12. Emisiones de CO₂ por consumo de electricidad durante el año

A continuación se estudia el impacto que tiene la empresa por concepto de transportación. Para ello se presenta una tabla en la Web que permite introducir los tipos de transporte que posee la empresa, sus cantidades y los kilómetros recorridos en el año. Además deben señalarse los rangos de velocidades media a los que se mueve normalmente (baja, media o alta). Con esta información y utilizando los factores de emisión reflejados en el Anexo 6, se calculan los Kg de CO₂ emitidos.

Finalmente se presenta un análisis de cuál es el impacto que tienen los trabajadores durante la jornada laboral. Para ello se separa el tipo de trabajo en categorías según la intensidad física del mismo (baja, media, alta). Para cada categoría se debe introducir la cantidad de personal y las horas de trabajo promedio por persona. Con estos datos se calcula el total de las emisiones por este concepto.

Luego de estos cálculos se añaden las conclusiones de este apartado, entre las que se encuentran:

- El total de las emisiones de CO₂ de la empresa en el plazo analizado. Para tener una idea se puede citar que una tonelada de CO₂, equivale al volumen de una piscina de 500m³ (10 m x 25 m x 2 m).
- Cuantos árboles deben plantarse por los trabajadores de la empresa para que esta pueda considerarse carbono neutral. Para ello es necesario conocer que, según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, un árbol absorbe entre 3 y 6 kg de CO₂ en un año [50].
- Que porcentaje representa lo que se deja de emitir por concepto de utilización de fuentes de energías renovables y como puede considerarse este valor (bajo, medio, alto, ideal)
- Cuáles son los meses de mayor impacto en las emisiones.
- De los elementos analizados cual es el de mayor impacto ambiental en la empresa.
- Relación entre las emisiones directas o indirectas.

Se incorporan además un grupo de consejos para mitigar o reducir estos efectos. Para escoger los consejos más adecuados a la empresa se tiene en cuenta entre otros aspectos cual es el sector de la empresa que presenta el mayor impacto, el uso de las energías renovables, el volumen total de CO₂ equivalente emitido o los meses de mayor impacto. Al finalizar se incorporan los criterios del especialista sobre el impacto ambiental de la empresa y las tareas que se están realizando en este sentido.

2.2 Bloque de análisis de los datos de la UNE

Luego de estudiar los temas relacionados con la gestión energética en la empresa, es momento de realizar el análisis de los datos eléctricos. Este es el objetivo principal de los dos bloques de reportes siguientes. En este epígrafe en particular, se hace un estudio con los datos que son suministrados por la UNE con periodicidad mensual a cada empresa. En el Anexo 7 aparece una tabla que refleja cuales son estos datos y una breve explicación de cada uno de ellos. Siguiendo la metodología utilizada hasta el momento, a través de la Web se obtienen aquellos datos que pudieran necesitarse para los análisis y no se cuenta con ellos en la base de datos.

2.2.1 Consumo mensual de la empresa

El consumo eléctrico es un indicador importante en la economía de una empresa debido al carácter transversal que posee en su matriz de gastos. Es por ello que su estudio es vital para lograr controlar y predecir el comportamiento de los gastos relacionados con los portadores energéticos. Con este objetivo los primeros datos a ser estudiados son pertenecientes a los niveles de consumo eléctrico mensual y los costos asociados. Para ello se utiliza un gráfico de puntos como el presentado en la figura 2-13.

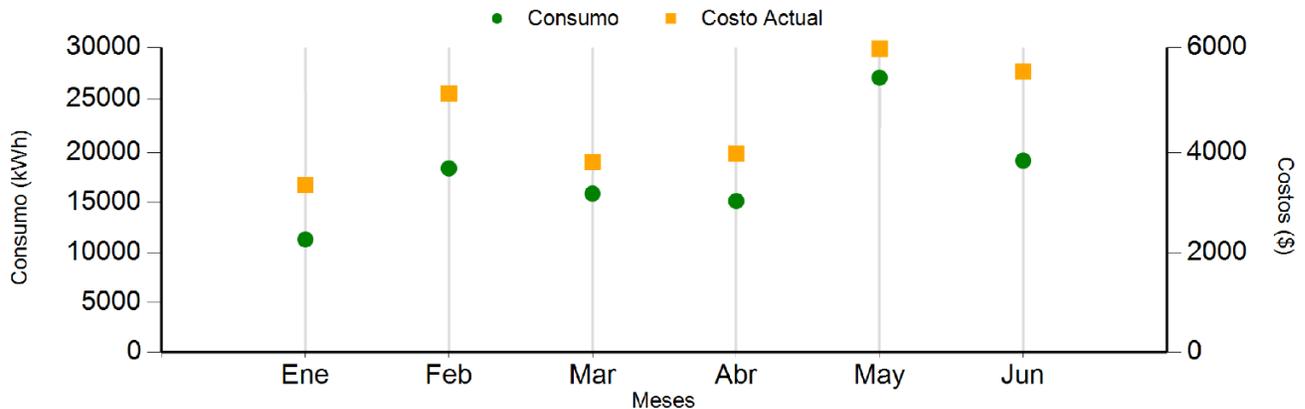


Figura 2 - 13. Gráfico de consumo mensual y los costos asociados

Junto con el gráfico se presenta una tabla que refleja los valores de consumo y costo tanto del período analizado como los del período base de comparación y la variación entre ellos. Para analizar correctamente esta tabla se debe conocer que, en condiciones normales, el costo y el consumo deben mantener el mismo comportamiento de un mes a otro. Un comportamiento distinto o un incremento exacerbado del costo con respecto al consumo pudiera señalar anomalías en los niveles de penalización por bajo factor de potencia, cambios en los niveles de consumo en los distintos horarios, incumplimientos en la demanda máxima contratada, entre otros factores. Esta información es analizada por el sistema y de detectarse algún indicador de problema es reflejado en el reporte como parte de los meses en los que se detectan singularidades. Las anomalías detectadas por el sistema son [40]:

- Signos de la variación del consumo y el costo diferentes.
- Incremento de la relación consumo / costo superior al 110% de la media.

Si el porcentaje de anomalías en la muestra es inferior al 10% se puede considerar como “Buena”, si este está entre 10% y 30% es “Regular” mientras que valores superiores a este se clasifica como “Deficiente”. Además de este elemento, el sistema ofrece otros datos tales como el mes y el trimestre de mayor y menor costo energético, el mes y el trimestre de mayor y menor consumo energético, la tendencia anual del consumo y del costo y las tasas de crecimiento con respecto al período anterior. Este último dato no es más que el porcentaje de variación entre los valores del consumo y el costo del período base de comparación y el actual, calculándose como [51]:

$$T_{cprom} = \sqrt[N]{\frac{V_{pre}}{V_i}} - 1 \quad (2 - 10) \quad \text{donde:}$$

V_i : valor del periodo i
 V_{pre} : valor del periodo base
 T_{Cprom} : tasa de crecimiento promedio
 N : tamaño de la muestra

Luego de estos elementos se ofrecen al usuario un grupo de recomendaciones para disminuir el consumo de energía y sus costos. Estos son escogidos dentro de un grupo amplio que se tiene en el sistema teniendo en cuenta alguna de las características que son conocidas de la instalación. Ejemplo de estas son objeto social de la instalación, sus principales portadores energéticos, el uso de energías renovables que presenta, la cantidad de trabajadores, el tipo de tarifa que tiene aplicada a la instalación, entre otras.

2.2.2 Tarifa eléctrica aplicada a la instalación

El análisis de la tarifa aplicada al centro objeto de estudio es un aspecto de suma importancia y que rara vez es analizado de manera crítica por los energéticos. Esto ocurre debido a que en ocasiones se da por sentado que la tarifa aplicada es la correcta en correspondencia con el tipo de instalación y el régimen de trabajo que posee, sin tener en cuenta los cambios de objeto social de las instalaciones que ocurren con mucha frecuencia en nuestro país. Un error a la hora de seleccionar la tarifa a aplicar por parte de los especialistas de la UNE puede repercutir en montos considerablemente altos a la hora de enfrentar la facturación. Esto puede provocar que dos instalaciones con los mismos consumos y características, posean facturas en la cuales aquella con una tarifa erróneamente aplicada deba pagar sumas mayores debido a este error. Esto pudiera incluso llegar a afectar los niveles de rendimiento de la empresa trayendo grandes perjuicios económicos [52].

Para analizar este aspecto se consulta la información existente en la base de datos del sistema que refleja la tarifa que le está siendo aplicada a la entidad. Con ella se recurre a la resolución No.277-2014 [53] del Ministerio de Finanzas y Precios para brindarle al usuario las características correspondientes a dicha tarifa. Según la información brindada en esta resolución y la que se tiene de la entidad se analiza si está correctamente aplicada la tarifa. Junto con este análisis el sistema brinda algunas observaciones y consejos de cómo ajustar el consumo de la entidad a los horarios más beneficiosos. Luego de estos análisis el usuario puede incluir en el reporte sus comentarios utilizando la Web.

2.2.3 Consumo mensual por tarifa horaria

Este análisis guarda similitud con el visto anteriormente con la diferencia en que se presenta el consumo mensual dividido en las tres tarifas horarias que ha implantado la empresa eléctrica. Estas son [53]:

- Día, comprendido en horario militar desde las 5:00 a las 17:00.
- Pico, comprendido en horario militar desde las 17:00 a las 21:00.

- Madrugada, comprendido en horario militar desde las 21:00 a las 5:00 del próximo día.

Para reflejar los datos de los consumos y los costos por tarifa en cada uno de los meses que componen el período analizado, se utilizó una tabla y gráficos de puntos. Como puede verse en la figura 2-14, en el primer gráfico (izquierda) están representados los consumos eléctricos mensuales por cada horario mientras que en el segundo (derecha) están los costos asociados a cada uno de ellos.

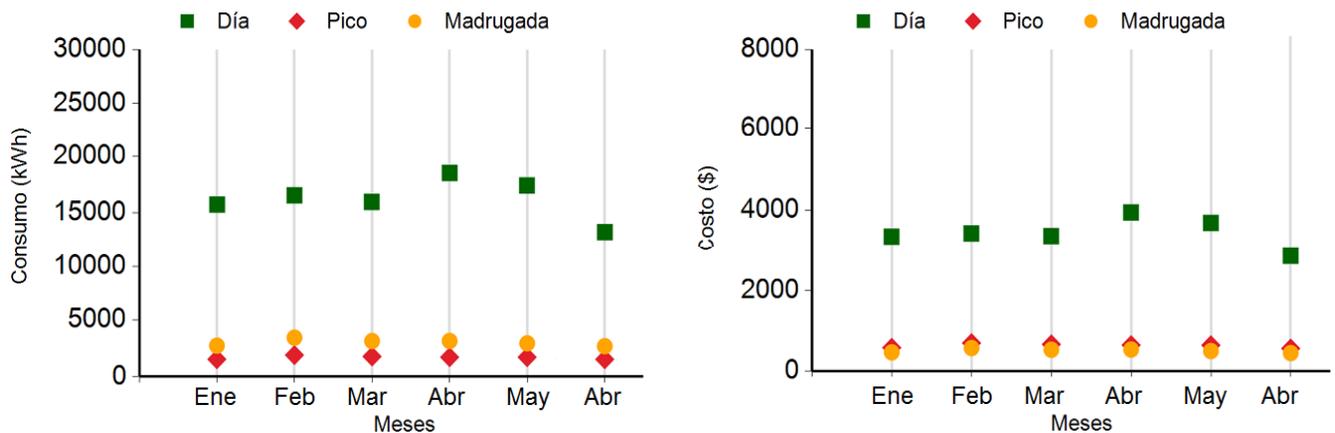


Figura 2 - 14. Gráfico de consumo mensual y los costos asociados por tarifa horaria

Con los datos introducidos el sistema construye una tabla que le brinda al especialista un grupo de resultados separado por cada uno de los horarios. Una imagen de esta tabla se muestra en la tabla 2-2:

Tabla 2 - 2 Datos del consumo mensual y los costos asociados por tarifa horaria

	Consumo Eléctrico			Costos por consumo eléctrico		
	Día	Pico	Madrugada	Día	Pico	Madrugada
Tendencia						
Promedio mensual (kWh \$)						
Porcentaje (%)						
Mes de mayor impacto						
Mes de menor impacto						
Desviación media mensual						
Meta mensual a lograr (kWh \$)						
Porcentaje de la mejora (%)						

Luego de estos datos, al usuario se le brindan otras conclusiones a las que se puede llegar. Entre ellas esta una clasificación sobre cómo es posible considerar el consumo en el horario pico con respecto al total en correspondencia con el porcentaje que representa. Este es un horario importante debido a que en él se registra los mayores niveles de demanda de electricidad. Es por ello que la dirección del país ha impuesto a las empresas niveles de consumo en ese horario en correspondencia con su objeto social y su consumo mensual. Teniendo en cuenta estos elementos es que se hace énfasis en los datos que reflejan el comportamiento de la empresa en este período.

Otro de elemento que se le da al usuario es una sugerencia de hacia cual horario debe desplazar las cargas no vitales. Esto provoca un cambio en la matriz de consumo tratando que se mantenga lo más estable posible durante todo el día evitando las variaciones en la carga, lo que también es perjudicial para el Sistema Electro-energético Nacional. Luego de estas conclusiones el especialista puede incorporar sus puntos de vista sobre este apartado en el área reservada para este fin en la Web.

2.2.4 Esquema de distribución eléctrica

En este análisis el sistema interactúa de manera más directa con el usuario para conocer el esquema de distribución eléctrica que posee la instalación. Con esto se le da al especialista un grupo de herramientas de análisis para conocer si el esquema que posee en su instalación es el más adecuado. Este es un elemento importante debido a que muchas instalaciones cambian el objeto social para la cual fueron creadas, lo que puede traer aparejado que el sistema eléctrico no funcione eficientemente o presente problemas operacionales; puesto que en ocasiones no se realiza un estudio para conocer si las condiciones del mismo son las adecuadas en las nuevas condiciones de uso.

El usuario tiene la posibilidad de, utilizando la Web, incluir en el reporte un diagrama del sistema de distribución. Posteriormente, debe seleccionar en un menú desplegarle cuál de las configuraciones básicas que se le brindan es la existente en su instalación. Las opciones que aparecen son [54]:

- Radial simple (Distribución a baja tensión)
- Radial con primario selectivo
- Radial expandido o magistral
- Secundario en red
- Radial con secundario selectivo
- Anillo

Con esta selección, el sistema incluye en el reporte las características principales, ventajas y desventajas que posee la opción utilizada. Esto posibilita que todo el personal asociado con la gestión energética de la instalación tenga una visión general de cómo funciona el sistema eléctrico, así como las medidas que se pueden tomar para que este trabaje de la manera más eficientemente posible.

Luego de este análisis, se hace énfasis en otro elemento que está directamente ligado al esquema de distribución y es la utilización de un primario selectivo. Es conocido por el sistema la clasificación que le tiene impuesta la Empresa Eléctrica a la entidad sobre la utilización o no de un primario selectivo. Conociendo este dato, se le brinda al usuario el concepto incluido en la resolución No.277-2014 sobre cuando clasificar a una entidad como que posee primario selectivo. Según este documento “los servicios trifásicos de cualquier demanda que presenten un esquema de alimentación con más de un circuito eléctrico primario se considerarán que poseen un primario selectivo” [53]. De manera automática el sistema comprueba si la condición que existente coincide o no con lo expresado por el usuario al clasificar el esquema eléctrico de la entidad. Esto hace que se puedan dar cuatro combinaciones, las cuales se presentan en el Anexo 8 junto con los criterios que se incluyen en el reporte para cada caso.

Es importante para una entidad conocer cómo está clasificada según el número de circuitos de alimentación que posee. Un error en este punto puede provocar grandes gastos puesto que los servicios trifásicos catalogados como que presentan más de un circuito eléctrico primario deben pagar un cargo fijo ascendente a 10% si tienen doble alimentación y un 20% si tienen triple alimentación. Al terminar el análisis se le da al especialista la posibilidad de exponer las condiciones de su entidad en este sentido y la necesidad o no de poseer más de una alimentación según el uso social de la misma.

2.2.5 Análisis del estado del sistema de transformación

La importancia de conocer el estado del sistema de transformación de una entidad radica no solo en las pérdidas económicas que trae aparejado un mal funcionamiento, sino también las interrupciones que puede provocar la rotura por falta de la atención adecuada. En este apartado se ven algunos de los puntos que deben analizarse a la hora de estudiar cómo está funcionando el sistema de transformación.

En la Resolución No.277-2014 del Ministerio de Finanzas y Precios se refiere en relación a la clasificación de un servicio como exclusivo que *“se considera un servicio con transformador exclusivo todo aquel que entre el transformador y el mismo solo medie la acometida que lo alimenta (cliente de Media Tensión). Un servicio exclusivo al cual se le hayan conectado varios consumidores residenciales seguirá manteniendo su condición, ya que el banco de transformadores se debe a la demanda de este servicio.”* [53]

En la Web aparece el concepto anterior junto con la categoría que le tiene impuesta la Empresa Eléctrica a la entidad. El especialista debe hacer una marca de verificación si considera que se cumple o no con esta categoría, tras lo cual quedan registrados en el reporte estos elementos. Si se es exclusivo, se pagan la totalidad de las pérdidas por transformación, en caso contrario, solo se paga un porcentaje en correspondencia de la demanda contratada. Un error puede traer aparejado pagos importantes por concepto de pérdidas de transformación. En cuanto a este punto el documento anterior establece que *“...en caso de varios servicios conectados a un banco de transformadores, se repartirá la capacidad de este en dependencia de las características de la demanda de cada uno de los servicios, simulándose transformadores equivalentes a cada demanda para el cálculo de las pérdidas de transformación...”* [53]

Otro dato de importancia a tener en cuenta, es si la toma de medición está hecha por el lado de alta o baja tensión. Esto se debe a que en los servicios de alta y media tensión, cuando la energía consumida es medida en el lado de baja tensión de los transformadores exclusivos, al consumo registrado se le añade las pérdidas de transformación. Al contrario, cuando la toma de medición es por el lado de alta tensión no se suman estas pérdidas, pues estas ya están incluidas. Para el caso de los servicios de baja tensión, estas pérdidas no se tienen en cuenta. Por lo visto anteriormente, en el reporte se incorporan los datos de la toma de la medición y la tarifa.

Luego de estos elementos, aparecen en el reporte algunas consideraciones sobre el tema de manera que el especialista sepa si existe alguna situación anómala. Además se incluyen el tipo de conexión utilizada

y algunas características sobre ella. Esto se obtiene luego de que el usuario seleccione en la Web la configuración utilizada en su sistema de transformación.

Si se llega a la conclusión que el servicio no es exclusivo, entonces el reporte sobre este punto terminaría solamente incluyendo las conclusiones que agregue el especialista. En caso contrario, existen otros elementos a tener en cuenta los cuales están reflejados en otro reporte disponible solo en estos casos.

2.2.5.1 Análisis del estado del transformador exclusivo

En un transformador exclusivo existen otras variables que pueden ser analizadas. Para ello se utilizan datos obtenidos de la factura eléctrica entre los que se encuentran la demanda máxima contratada o la capacidad y el tipo del transformador. Esta información aparece en el reporte seguido de una tabla que ofrece las pérdidas de transformación facturadas (Tabla 2-3) en cada uno de los meses del período analizado. Es importante puntualizar que el módulo trabaja considerando la metodología de cálculo propuesta por la UNE, donde el banco es considerado como un solo transformador equivalente.

Tabla 2 - 3. Cálculo de las pérdidas mensuales por transformación

Mes	Consumo (kWh)	Pérdidas facturada (kWh)	Pérdidas calculadas (kWh)	Diferencia (kWh)	Porcentaje (%)

La columna “Pérdidas calculadas” refleja cuanto se debió facturar en ese mes por concepto de pérdidas de energía por transformación. Para obtener este valor se utilizó la resolución No. 277/2014, la cual incluye la siguiente ecuación para el cálculo de las pérdidas de energía totales de transformación:

$$P_T = P_{FE} * t_3 + (kVA_r / kVA_n)^2 * P_{CU} * t_1 \quad (2 - 11)$$

donde P_T : Pérdidas totales en un transformador. [kWh]
 P_{FE} : Pérdidas de hierro. [kWh]
 t_3 : Horas que está energizado el transformador [h]
 kVA_r y kVA_n : kVA reales y nominales del banco.
 t_1 : Tiempo de trabajo. [h]
 P_{CU} : Pérdidas de cobre. [kWh]

En esta ecuación se debe tener en cuenta que:

- t_3 en la mayoría de los casos es 24 horas * 30 días = 720 horas / mes.
- t_1 vale 200h / mes para 1 turno de trabajo, 400h / mes para 2 turnos y 720h / mes para 3 turnos.
- $kVA_r =$ Consumo del mes [kWh] / t_1 * Factor de potencia
- $kVA_n =$ En el caso de transformadores monofásicos sería $kVA_1 + kVA_2 + kVA_3$

La columna “Porcentaje”, ofrece el porcentaje que representa la diferencia entre las pérdidas calculadas y las que han sido facturadas por la empresa eléctrica. Si este valor supera el 2%, entonces esta celda

toma color rojo puesto que se estima que la diferencia supera cualquier error de redondeo que pudiera provocar diferencias en los cálculos. Estos casos deben ser analizados detenidamente para detectar las razones de estas incompatibilidades que repercuten directamente en la facturación eléctrica.

Con estos datos se obtienen un grupo de variables referentes al banco de transformadores utilizado:

- **Pérdidas de hierro totales y pérdidas de cobre totales nominales:** Para obtener estos parámetros se utilizan las tablas incluidas en el Anexo 10 que reflejan las pérdidas promedio de los transformadores de acuerdo a su capacidad. Si el banco está compuesto por múltiples transformadores, las pérdidas totales serán la suma de los valores individuales de cada uno de ellos.
- **Relación de pérdidas del transformador:** Este parámetro determina el estado de carga óptimo. Los transformadores de baja relación tienen su máxima eficiencia más próxima a plena carga, mientras que los que poseen una alta relación tienen su máxima eficiencia a cargas parciales más alejadas de la nominal. Este valor se obtiene según la ecuación siguiente:

$$\text{Relación}_{\text{pérdidas}} = \frac{\text{Pérdidas}_{\text{Cu nominales}}}{\text{Pérdidas}_{\text{Fe}}} \quad (2 - 12)$$

- **Carga para que la eficiencia sea máxima ($K_{\eta\text{máx}}$):** Es el estado de carga en la cual se obtiene la máxima eficiencia para un factor de potencia determinado. Se obtiene según la ecuación:

$$K_{\eta\text{máx}} = \sqrt{\frac{\text{Pérdidas}_{\text{Fe}}}{\text{Pérdidas}_{\text{Cu nominales}}}} \quad (2 - 13)$$

- **Potencia para $K_{\eta\text{máx}}$:** Es la potencia que debe existir para obtener un estado de carga en el cual la eficiencia sea máxima. Este parámetro se establece para un factor de potencia determinado.

$$P_{\eta\text{máx}} = K_{\eta\text{máx}} * S_{\text{nominal}} * Fp \quad (2 - 14)$$

- **Eficiencia máxima ($\eta_{\text{máx}}$):** La eficiencia alcanza su valor máximo para una carga tal en que las pérdidas variables son iguales a las pérdidas constantes.

$$\eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{\text{Pérdidas}_{\text{Fe}} + K_{\text{carga}}^2 * \text{Pérdidas}_{\text{Cu nominales}}}{K_{\text{carga}} * S_{\text{nominal}} * \cos\phi + (\text{Pérdidas}_{\text{Fe}} + K_{\text{carga}}^2 * \text{Pérdidas}_{\text{Cu nominales}})} \quad (2 - 15)$$

- **Pérdidas totales:** Si las pérdidas de hierro y cobre son iguales en las condiciones de eficiencia máxima, entonces es posible calcular las pérdidas totales como el doble de las pérdidas de hierro.

Luego de obtener los parámetros de máxima eficiencia del banco de transformadores se procede a analizar cuáles son las condiciones de trabajo en las que está operando. En la Web se le pide al usuario que introduzca los porcentajes estado de carga en los que trabaja el banco en un día con condiciones estándar. Para ello se le presenta una tabla en la cual puede ir dividiendo el día en horas según los estados de carga aproximados, la cual se reflejada en el reporte como se muestra en la tabla 2-4.

Tabla 2 - 4. Distribución de las cargas del transformador en el día

Carga	Horas Diarias	Potencia (kW)	Eficiencia	Perdidas (kW)	Consumo por pérdidas (kWh)

Para conocer la potencia en cada una de las cargas se utiliza la ecuación 2-14, con lo que se obtiene:

- La eficiencia en cada carga, utilizando la ecuación 2-15.
- Las pérdidas que se tienen para cada una de las cargas a través de la ecuación:

$$\text{Pérdidas} = \text{Pérdidas}_{\text{Fe}} + \text{Pérdidas}_{\text{Cu}} \quad \text{donde} \quad \text{Pérdidas}_{\text{Cu}} = K_{\text{carga}}^2 * \text{Pérdidas}_{\text{Cu nominales}} \quad (2 - 16)$$

- El consumo por pérdidas, que se obtiene de multiplicar las pérdidas por las horas que dura cada una de las cargas.

Luego se incluye un gráfico que representa la eficiencia del transformador en relación a la carga. Es importante aclarar que la curva de eficiencia se obtiene con cargas que van desde 0 hasta 1 con un paso de 0,05. En él aparecen reflejados con puntos de color naranja las cargas referenciadas en la tabla con lo que puede analizarse las distintas situaciones de manera visual. A continuación del gráfico, se destacan algunos elementos con los que se llama la atención sobre aspectos importantes de los resultados obtenidos. Además se brindan medidas para disminuir las pérdidas y aumentar la vida útil del banco de transformadores. Finalmente se aparecen en el reporte las conclusiones del especialista sobre este tema.

2.2.6 Demanda Máxima Contratada

Este es un elemento de peso en la factura eléctrica de cualquier entidad, viéndose afectado en varias veces su valor si no se contrata adecuadamente. Es decir, dos empresas pueden tener el mismo consumo mensual y pagar varias veces más, una que la otra, debido a las penalizaciones o a una contratación muy elevada.

La Demanda Máxima Contratada, que es *“la potencia instantánea medida en ventana deslizante de 15 minutos, en la cual el consumo de energía es mayor que en cualquier otro bloque de demanda”* [6], es cobrado a la mayoría de los consumidores dependiendo de la tarifa aplicada. Esta demanda corresponde a *“la potencia máxima que el cliente decide contratar a la Empresa Eléctrica, en negociación entre las partes, por un período de 12 meses”* [53]. Este es un elemento al cual no se le presta la adecuada atención por parte de los energéticos que, al no analizar sus niveles de demanda, hacen que se incurran en gastos innecesarios ya sea por penalizaciones o por exceso de demanda contratada.

Por las razones expuestas, lo primero que aparece en el reporte es una tabla, similar a la tabla 2-5, donde se relaciona la Demanda Máxima Contratada y la Real con los pagos mensuales asociados a estos.

Tabla 2 - 5. Demanda Máxima Contratada y la real de la entidad

Mes	Dem. Max. Cont. (kW)	Dem. Max. Real (kW)	Imp. fijo (\$)	Imp. por penalizaciones (\$)	Importe Total (\$)

Para dar la posibilidad de analizar estos datos de forma visual el sistema entrega junto con la tabla, 2 gráficos de puntos como los que se presentan en la figura 2-15. El primero (izquierda) incorpora la Demanda Máxima Real en cada uno de los meses. En él aparece una línea roja que marca la Demanda Máxima Contratada, por lo que los puntos por encima de esta línea son los que incumplieron con este parámetro y fueron penalizados. La magnitud de estas penalizaciones puede ser analizada en el segundo gráfico (derecha). En él, la línea marca el monto fijo a pagar por la demanda contratada y los puntos reflejan el monto total, por lo que los puntos penalizados se encuentran por encima de esta línea.

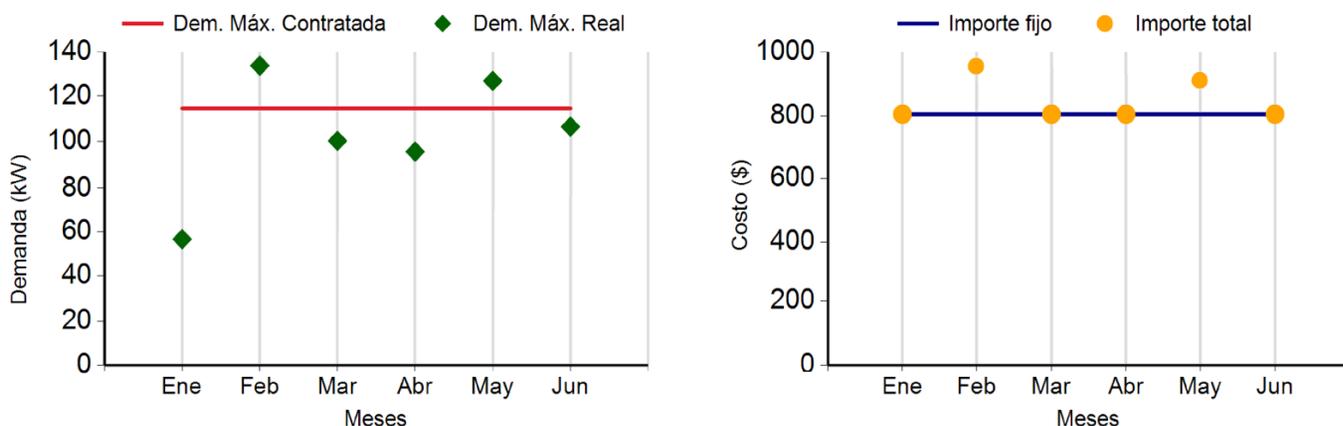


Figura 2 - 15. Gráficos de demanda máxima y los costos asociados

Posteriormente se ofrecen un grupo de resultados importantes en el análisis de esta variable tales como el número de incumplimientos y el porcentaje que representan del total de meses, el peor y mejor mes, la tasa de crecimiento de la Demanda Máxima Real y las penalizaciones con respecto al período base, la potencia total consumida en exceso o defecto, la demanda máxima promedio, la tendencia de las penalizaciones y de la Demanda Máxima Real, entre otros.

Utilizando la información suministrada por el usuario a través de la Web, el sistema realiza los cálculos necesarios para estimar la demanda que debería ser contratada según las características de utilización y potencia necesaria en la entidad. Esta metodología ha sido utilizada por el Grupo Ministerial de la Energía del MININT con buenos resultados prácticos y fue desarrollada por la Empresa Chilena ATECNA [55]. En este método, que se presentara a continuación, se debe tener en cuenta que:

- NDAM: Número de días de actividad en el mes.
- NHAD: Número de horas de actividad en los días de actividad en el mes (NDAM).

Conociendo el consumo mensual y su desglose en tarifas, es posible obtener el porcentaje que representa el consumo en horas sin actividad (CNA) respecto del consumo total. Con ello se aplica la siguiente ecuación para determinar el consumo en horas de actividad:

$$\text{Consumo en horas de actividad} = \text{Consumo total} - (\text{Consumo total} * \text{CNA}) \quad (2 - 17)$$

Luego, la demanda máxima estimada que la empresa debiera adoptar es en ese mes es:

$$\text{Demanda máxima a contratar} = \text{Consumo en horas actividad} / (\text{NDAM} * \text{NHAD}) \quad (2 - 18)$$

Los resultados para cada uno de los meses aparecen en el informe en una tabla como la que sigue:

Tabla 2 - 6. Demanda estimada por meses

Mes	Demanda Máxima Real (kW)	Demanda Máxima estimada (kW)	Penalizaciones estimadas (\$)	Total a pagar estimado (\$)

Posteriormente, el sistema brinda otros valores con el objetivo de que el especialista tenga un criterio o referencia de cuál debería ser el valor estimado a contratar:

- Días con actividad en el mes (NDAM)
- Horas de actividad en días NDAM (NHAD)
- Consumo en horas de actividad (CHA) promedio
- Consumo en horas sin actividad (CHSA) promedio
- Porcentaje promedio que representa el CHSA
- Demanda máxima estimada promedio.
- Demanda máxima estimada a contratar
- Ahorros anuales estimados.

Con estos elementos es posible concluir si existe la necesidad de recontractar la Demanda Máxima. El primer aspecto a analizar es el número de meses que se ha incumplido con este valor. Un número igual o superior a 5 meses puede ser señal de que es necesaria una recontractación, sobre todo si estos son consecutivos o semi-consecutivos. Esto, unido al criterio de que si la diferencia entre el valor contratado y el estimado representa, tanto por exceso como por defecto, sobre el 20%, puede dar una idea aceptada de la necesidad de recontractar la demanda. Valores en el rango de -20% a 20% no dan una idea clara de que haya que cambiar este parámetro, por lo que se deja a consideración del especialista. Estos criterios son seguidos por el Grupo Ministerial para la Energía del MININT.

Al finalizar el estudio el especialista puede incluir sus conclusiones sobre los análisis realizados. Con este reporte el usuario tiene una herramienta que puede darle importantes ahorros económicos, los cuales pueden invertidos en implementar otras medidas que necesiten una inversión para su ejecución.

2.2.7 Medidas para mejorar el consumo de energía y reducir la demanda máxima

Este análisis trata de, con la información recopilada hasta este punto, detectar algunas situaciones u oportunidades que pudieran existir en la entidad y que su solución o modificación traería como

consecuencia una disminución del consumo de energía o de la demanda. Para ello en la Web se le pide al especialista que escoja entre un grupo de equipos aquellos que existen en su instalación. Esta selección permite incorporar entre las medidas algunas sugerencias para mejorar el funcionamiento de estos equipos a la vez que se disminuye el consumo asociado a ellos. Toda esta información se analiza conjuntamente con las respuestas del usuario a las preguntas que se le realiza en la Web para conformar un listado de las situaciones que más probabilidades tienen de ocurrir.

El listado generado es visualizado en la Web para que el especialista puede escoger, simplemente haciendo una marca, aquellas situaciones que considera existen en su instalación. Finalmente se conforma una tabla con las filas seleccionadas que contiene, el problema detectado y una propuesta de solución. Si existiera alguna situación que el usuario considera que debe ser incluida es posible incorporarla utilizando la fila en blanco existente en la página. El especialista puede añadir otros comentarios en el espacio destinado a este fin en la Web.

2.2.8 Análisis del Factor de Potencia

El factor de potencia (FP) tiene un importante significado técnico-económico debido a que de su magnitud dependen posibles pagos por penalizaciones y pérdidas que influyen en la factura eléctrica. A diferencia de otras variables eléctricas que son responsabilidad de la central eléctrica, los energéticos de cada entidad tienen la posibilidad de mejorar el factor de potencia. Es por ello que una medida eficaz para disminuir las pérdidas de energía eléctrica es aumentar el factor de potencia existente [56].

El FP indica qué porcentaje de la potencia total es utilizada para realizar trabajo. Por lo tanto, constituye un índice de la utilización cualitativa y cuantitativa de la energía. Cuando el ángulo de fase (φ) se incrementa por la adición de cargas inductivas, la fracción representada “ $\cos\varphi$ ” decrece, dando una cifra baja de factor de potencia. Esto genera mayores pérdidas, lo que conlleva a necesitar más energía activa para efectuar el mismo trabajo útil, con el consecuente aumento de emisiones de CO₂ y otros contaminantes.

Lo primero que se brinda en el reporte es una tabla donde aparecen un grupo de variables relacionadas con el factor de potencia en el período analizado (ver tabla 2-7). La columna “Estado”, que corresponde al estado de la instalación en relación a las penalizaciones, puede tomar 3 valores en dependencia con el factor de potencia en ese mes. Cada uno de ellos se asocia a un color de la celda, lo que permite una rápida identificación visual. Los valores establecidos por la empresa eléctrica para cada uno de los estados son [53]:

- “**Penalizada**” cuando el factor de potencia es inferior a 0,90 con color rojo.
- “**No Penalizada**” cuando el factor de potencia está entre 0,90 y 0,92 con color amarillo.
- “**Bonificada**” cuando el factor de potencia es superior a 0,92 con color verde.

Tabla 2 - 7. Comportamiento del factor de potencia

Mes	Factor de potencia	Importe por FP (\$)	Energía Activa (kWh)	Energía Reactiva (kvarh)	Estado

Con estos parámetros se obtienen datos que se ofrecen a continuación de la tabla. Estos elementos son:

- Importe total por factor de potencia: Es la resta del total de las bonificaciones menos el total de las penalizaciones.
- Factor de potencia en el período: Da una idea de en qué rango de valores estuvo el factor de potencia de la instalación durante el período analizado. Es el promedio de los valores mensuales.
- Estado de la instalación: Indica cómo se considera que trabajó la instalación en el período analizado. Los estados pueden ser (penalizada, no penalizada, bonificada).
- Peor y mejor mes: Identifica cuales fueron el peor y el mejor mes en el período analizado.
- Compensación: Indica si se considera necesario instalar un banco de capacitores para introducir compensación de energía reactiva o no. Sus estados pueden ser (*“Es necesaria la compensación”*, *“Estudiar factibilidad de compensación”* o *“No es necesaria la compensación”*).

Posteriormente aparecen un grupo de factores que pudieran afectar el valor de este parámetro y medidas que se pueden tomar con vistas a mantenerlo o mejorarlo. Después de esto, la Web da la posibilidad al especialista de incluir en el reporte sus conclusiones sobre el comportamiento del factor de potencia.

2.2.8.1 Cálculo del banco de capacitores y su factibilidad económica

Este reporte aparece en dependencia del valor que haya tomado el parámetro *“Compensación”*. Si se concluyó que no es necesaria la compensación, este análisis no aparecerá. En los otros dos casos (*“Es necesaria la compensación”* o *“Estudiar factibilidad de compensación”*) se calcula la capacidad del banco de capacitores necesario para que la entidad pase al estado de bonificación.

Una forma práctica y económica para compensar bajos niveles de factor de potencia es la conexión en paralelo de bancos de condensadores. Es la forma más usual, especialmente en sistemas trifásicos, por lo que es el método que se propone. Este equipo provoca que la corriente del condensador sea usada para suplir las corrientes magnetizantes requeridas por las cargas, lo que mejora el factor de potencia debido a sus efectos inductivos. Se propone una compensación central, en la cual la potencia reactiva inductiva de todos los consumidores de diferentes potencias y tiempos de trabajo es compensada por la regulación automática de capacitores dentro de un banco según las exigencias del momento [57]. Para determinar la capacidad del banco se parte del triángulo de potencias teniéndose que:

$$Q_c = Q_L - Q \quad \text{Como:} \quad Q = P * \tan\phi \quad \text{donde: } P \text{ Potencia Activa Máxima medida [kW]} \\ \phi \text{ Ángulo de fase [grados]}$$

Entonces: $Q_c = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$.

Si: $K = (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$

$$Q_c = P * K \quad (2 - 19)$$

El valor de K se obtiene a través de la tabla que se encuentra en el Anexo 9.

Después de realizar los cálculos correspondientes es posible brindar al especialista, entre otros resultados, la potencia activa máxima, el coeficiente K utilizado, la potencia reactiva capacitiva a compensar o la potencia del banco de condensadores. Teniendo en cuenta estos datos, en la Web se realiza una sugerencia de banco de capacitores a instalar a través de una tabla, como se parecía en la figura 2-16. En ella aparecen uno o más bancos que cumplen con las condiciones requeridas.

Fabricante	Modelo	Referencia	Descripción	Precio del equipo (CUC)	Importe total (CUC)
-	-	-	-	0	0
<input type="text"/>	<input type="text"/>				

Figura 2 - 16. Tabla de bancos de capacitores a instalar

Esta ventana cuenta con 2 botones, “*Seleccionar*” y “*Agregar Equipo*”. El primero es utilizado para que el análisis de factibilidad económica se realice con el equipo previamente marcado. El otro da la posibilidad de introducir los datos de un nuevo equipo. De escogerse esta opción, en la misma tabla aparecerá un nuevo banco con los datos introducidos en la fila en blanco. Estos valores quedan reflejados en el reporte en una tabla similar a la explicada anteriormente.

Para realizar el estudio de factibilidad económica, el sistema conforma una tabla que representa el gasto por consumo de energía en el período analizado según el factor de potencia registrado en la entidad y el deseado. Esta tabla se presenta al usuario tanto en la Web como en el reporte, donde además se refleja el ahorro monetario que se obtendría y el porcentaje que representa. El valor por defecto del factor de potencia deseado es 0,96 debido a que valores superiores a este no se bonifican. Sin embargo, este valor puede ser cambiado según el interés del especialista.

Esta Web brinda la opción de descargar el análisis de factibilidad económica en un documento Excel. Con ello se da la posibilidad de que el especialista pueda trabajar con estos resultados sin la necesidad de estar conectado al sistema o poder ver los resultados que se obtendrían variando los parámetros que forman parte del cálculo. La tabla 2-8 aparece en la hoja llamada “*Calculo de Facturación*” de dicho documento.

Tabla 2 - 8. Cálculo de la facturación de la energía consumida

Tipo de tarifa		M1-C														
Factor de potencia deseado		0,96														
Prct. (\$/KW)		7,00														
Pico		Día		Madrugada												
Coef 1	Coef 2	Coef 1	Coef 2	Coef 1	Coef 2											
0,0254	0,064	0,0254	0,064	0,0254	0,064											
Mes	Factor K	Consumo Ea (KWh)			Icv (\$)	Ptransf (KWh)	Impt. (\$)	Dcont. (kW)	ICF (\$)	IFN (\$)	FP real cosφ1	IFP real (\$)	IFP deseado (\$)	IT (FP real) (\$)	IT (FP deseado) (\$)	
Enero	5,6019		5629		5629	\$ 1.161,20	615	134,88	80	\$ 560,00	\$ 1.856,08	0,85	\$ 109,18	-\$ 77,34	\$ 1.965,26	\$ 1.778,74
Febrero	5,816		7767		7767	\$ 1.644,48	559	123,31	80	\$ 560,00	\$ 2.327,79	0,84	\$ 166,27	-\$ 96,99	\$ 2.494,06	\$ 2.230,80
Marzo	5,7748		8289		8289	\$ 1.746,33	614	135,93	80	\$ 560,00	\$ 2.442,26	0,85	\$ 143,66	-\$ 101,76	\$ 2.585,92	\$ 2.340,50
Abril	5,5392		8782		8782	\$ 1.797,64	609	134,82	80	\$ 560,00	\$ 2.492,46	0,84	\$ 178,03	-\$ 103,85	\$ 2.670,49	\$ 2.388,61
Mayo	5,508		10478		10478	\$ 2.136,50	588	130,17	80	\$ 560,00	\$ 2.826,67	0,85	\$ 166,27	-\$ 117,78	\$ 2.992,94	\$ 2.708,89
Junio	5,7641		10426		10426	\$ 2.193,72	593	131,28	80	\$ 560,00	\$ 2.885,00	0,86	\$ 134,19	-\$ 120,21	\$ 3.019,18	\$ 2.764,79
Julio	5,9662		9386		9386	\$ 2.023,07	607	134,38	80	\$ 560,00	\$ 2.717,45	0,83	\$ 229,18	-\$ 113,23	\$ 2.946,64	\$ 2.604,23
Agosto	6,0279		9880		9880	\$ 2.145,03	612	135,48	80	\$ 560,00	\$ 2.840,51	0,84	\$ 202,89	-\$ 118,35	\$ 3.043,41	\$ 2.722,16
Septiembre	5,7518		9398		9398	\$ 1.974,48	603	133,49	80	\$ 560,00	\$ 2.667,97	0,83	\$ 225,01	-\$ 111,17	\$ 2.892,98	\$ 2.556,80
Octubre	5,9914		9145		9145	\$ 1.976,98	601	133,5	80	\$ 560,00	\$ 2.670,48	0,84	\$ 190,75	-\$ 111,27	\$ 2.861,23	\$ 2.559,21
Noviembre	5,7878		8803		8803	\$ 1.857,52	596	131,94	80	\$ 560,00	\$ 2.549,46	0,85	\$ 149,97	-\$ 106,23	\$ 2.699,43	\$ 2.443,23
Diciembre	5,6472		7711		7711	\$ 1.599,56	564	124,86	80	\$ 560,00	\$ 2.284,42	0,84	\$ 163,17	-\$ 95,18	\$ 2.447,59	\$ 2.189,24
Total						\$105.694,00	\$22.256,50				\$6.720,00		\$2.058,58	-\$1.273,36	\$32.619,12	\$29.287,19
Ahorro monetario con el cambio de FP										\$3.331,94						
Porcentaje de ahorro										10,21%						

Para comprender mejor los términos que se incluyen en esta tabla es necesario conocer que:

- Importe Cargo Variable (I_{CV}) = I_{CV} (madrugada) + I_{CV} (día) + I_{CV} (pico)
- Pérdidas por transformación (P_{transf})
- Importe por pérdidas de transformación ($ImPt$)
- Precio del KWh según la tarifa aplicada (P_{rcf})
- Demanda Máxima Contratada (D_{cont})
- Importe Cargo Fijo (I_{CF}) = $P_{rcf} * D_{cont}$
- Importe Facturación Normal (I_{FN}) = $I_{CV} + I_{CF} + I_{PERD}$
- Factor de potencia real registrado en la entidad (FP_{real})
- Importe por factor de Potencia (I_{FP}) = $I_{FN} * (FP_{norma} / FP_{real} - 1)$

Teniendo los datos económicos necesarios se procede a hacer el análisis de la recuperación de la inversión a través de una tabla cuya imagen aparece en la tabla 2-9. En ella hay tres datos que fueron introducidos por el usuario que son el “Costo de la Inversión”, la “Vida útil del equipo” y el “Flujo descontado acumulado inicial”. Posteriormente aparecen 2 bloques, uno que recoge los datos iniciales y el otro que muestra los resultados obtenidos en cada uno de los años de vida útil del equipo. Si se estuviera utilizando el documento Excel antes referido, esta tabla aparece en la hoja llamada “Evaluación de la inversión”. Las ecuaciones que rigen los términos que aparecen en el bloque de resultados son:

- Depreciación del equipamiento (D_{ep}) = K_0 / n (2 - 20) donde: K_0 Costo de la inversión
 n Años
- Flujo de caja (F_{ci}) = $(I_i - G_i - D_{ep}) * (1 - t / 100) + D_{ep}$ (2 - 21) donde: I Ingresos en el año i
 G Gastos en el año i
 t Tasa de impuestos

- **Tasa de descuento real (R) = $[(1 + r) / (1 + f)] - 1$ (2 - 22)** donde: r Tasa de interés bancaria
f Tasa de inflación, fracción
- **Tasa de descuento real con margen (D) = R_i / M_r (2 - 23)** donde: R_i Tasa de descuento real año i
 M_r Margen de riesgo
- **Factor de Descuento (F_{desc}) = $1 / (1 + D)^i$ (2 - 24)** donde: i Año que se analiza
- **Flujo de caja descontado (F_d) = F_{ci} / F_{desci} (2 - 25)**

Tabla 2 - 9. Evaluación de la inversión

Datos iniciales										
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Costo de la inversión (K ₀ , \$)	4230,28									
Vida útil del equipo (años)	10,00									
Flujo descontado acumulado inicial (\$)	-4230,28									
Ingresos (\$)	3.331,94	3.331,94	3.331,94	3.331,94	3.331,94	3.331,94	3.331,94	3.331,94	3.331,94	3.331,94
Gastos (\$)	82,12	82,12	82,12	82,12	82,12	82,12	82,12	82,12	82,12	82,12
Tasa de descuento (%)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tasa de inflación (%)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Margen de riesgo (%)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Tasa de impuestos sobre la ganancia (%)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Resultados										
Depreciación (\$)	423,03	423,03	423,03	423,03	423,03	423,03	423,03	423,03	423,03	423,03
Flujo de caja (\$)	2.543,12	2.543,12	2.543,12	2.543,12	2.543,12	2.543,12	2.543,12	2.543,12	2.543,12	2.543,12
Tasa de descuento real	0,1165	0,1165	0,1165	0,1165	0,1165	0,1165	0,1165	0,1165	0,1165	0,1165
Tasa de descuento real con margen	0,1365	0,1365	0,1365	0,1365	0,1365	0,1365	0,1365	0,1365	0,1365	0,1365
Factor de descuento	0,8799	0,7742	0,6812	0,5994	0,5274	0,4641	0,4083	0,3593	0,3161	0,2782
Flujo de caja descontado (\$)	2.237,67	1.968,90	1.732,42	1.524,34	1.341,25	1.180,16	1.038,41	913,69	803,94	707,38
Flujo descontado acumulado (\$)	-1.992,61	-23,71	1.708,71	3.233,05	4.574,30	5.754,46	6.792,87	7.706,55	8.510,50	9.217,88
Período Simple de Recuperación (años)	1,27									
Valor Presente Neto (\$)	9217,88									
Tasa Interna de Retorno (%)	85,76									
Conclusión sobre factibilidad económica	Factible									

Al final se presentan tres elementos cuyo análisis constituye la base fundamental para concluir sobre la factibilidad económica de cualquier proyecto. Estos son el Período Simple de Recuperación (PSR), El Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

El Período Simple de Recuperación es “la división del costo inicial del proyecto por el flujo anual de efectivo esperado” [58]. No es más que el tiempo que le toma al proyecto generar el flujo de efectivo suficiente para compensar la inversión [13]. En este cálculo no se toman en cuenta un grupo amplio de factores que afectan esta relación, por lo que es solamente utilizado como una base de análisis rápida para luego hacer análisis más profundos. Para este tipo de proyecto un período menor de 3 años es considerado como bueno, mientras que entre 3 y 4 años es aceptable. Un período de recuperación que supere los 5 años la inversión no es aconsejable.

El Valor Presente Neto es un “procedimiento que permite calcular el valor actual de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión” [59]. Consiste en actualizar mediante una tasa todos los flujos de caja futuros para determinar la equivalencia en el tiempo de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial [60]. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial es recomendable aceptar el proyecto. Este

parámetro brinda un criterio de a cuánto asciende el beneficio al terminar el plazo de la inversión, dando una idea del margen que se tiene para realizar gastos imprevistos y que a pesar de ello, la inversión siga siendo factible. Este valor se calcula a través de la ecuación:

$$VPN = -K_0 + \sum \frac{F_c}{(1+D)} \quad (2 - 26) \quad \text{donde: } K_0 \text{ Costo de la inversión}$$

Para analizar este parámetro se tiene como criterio que si toma un valor menor que cero la inversión dará pérdidas, por lo que es *“inacceptable”*. Si es positivo y menor que \$1000,00 se considera *“aceptable”*, mientras que un valor superior a este la inversión sería catalogada como *“ventajosa”*.

El último elemento es la Tasa Interna de Retorno (TIR) que no es más que *“la tasa efectiva anual que hace que el Valor Presente Neto de todos los flujos de efectivo (tanto positivos como negativos) de una inversión sea igual a cero”* [61]. Cuanto mayor sea la TIR de un proyecto, más deseable será llevarlo a cabo puesto que es un indicador de rentabilidad. Por ello un TIR mayor o igual a la tasa de descuento puede aceptarse, mientras que valores por debajo de este deben rechazarse. Con estos elementos el sistema concluye si se considera económicamente factible o no la instalación del banco de capacitores.

Luego de estos datos se presenta una gráfica que muestra cómo se comporta el VPN en el tiempo. Hay que destacar en esta gráfica el cruce por el eje X como el punto en el cual se recupera la inversión. En el caso del documento Excel aparece en la hoja llamada *“Gráfico de VPN vs Tiempo”*.

Finalmente se brindan algunas conclusiones sobre este estudio de factibilidad como una forma de hacer más accesible los cálculos y resultados obtenidos. También se le da la posibilidad al especialista de que incluya sus razonamientos al reporte. Estos criterios cobran especial relevancia puesto que indicadores como el VAN la TIR están relacionados a la naturaleza del proyecto al cual se refieren. Por lo que más allá de la sugerencia del sistema lo más importante en este caso es la experiencia del especialista.

2.3 Bloque de análisis de los datos del medidor inteligente

En este epígrafe se presentan los análisis realizados con los datos obtenidos de la lectura en intervalos de 1 minuto a los registros MODBUS de los medidores inteligentes. Este bloque solo estará disponible para aquellas instalaciones que cuenten con uno de estos equipos acoplado a su línea de alimentación central e integrado al sistema XYMA. AMR-ELECTRICITY. Los análisis a realizar no persiguen repetir información, sino ser un complemento incorporando datos, gráficos y tablas con un nuevo enfoque.

2.3.1 Potencias activa y reactiva

El reporte comienza presentando el día escogido en la Web para realizar el estudio. El usuario debe escoger un día de comportamiento típico, de manera que el estudio sea representativo de los niveles de potencia existentes en la instalación. Se debe considerar un día típico como *“aquel en el cual el comportamiento sea propio, característico o representativo de un día de trabajo en la instalación”* [62].

Luego se entrega un gráfico de dos ejes, similar al gráfico 2-17, donde se han incorporado los valores instantáneos de estas variables cada un minuto. Esta representación es útil para ver los comportamientos a lo largo del tiempo y apreciar las crestas y valles de potencias que generalmente coinciden con situaciones de encendido o apagado de equipos conectados a la red. Otro elemento a valorar es cómo se distribuye el consumo durante el día. Como la relación existente entre potencia y energía es el tiempo, el área bajo estas curvas refleja el consumo de energía activa y reactiva respectivamente [63] [64].

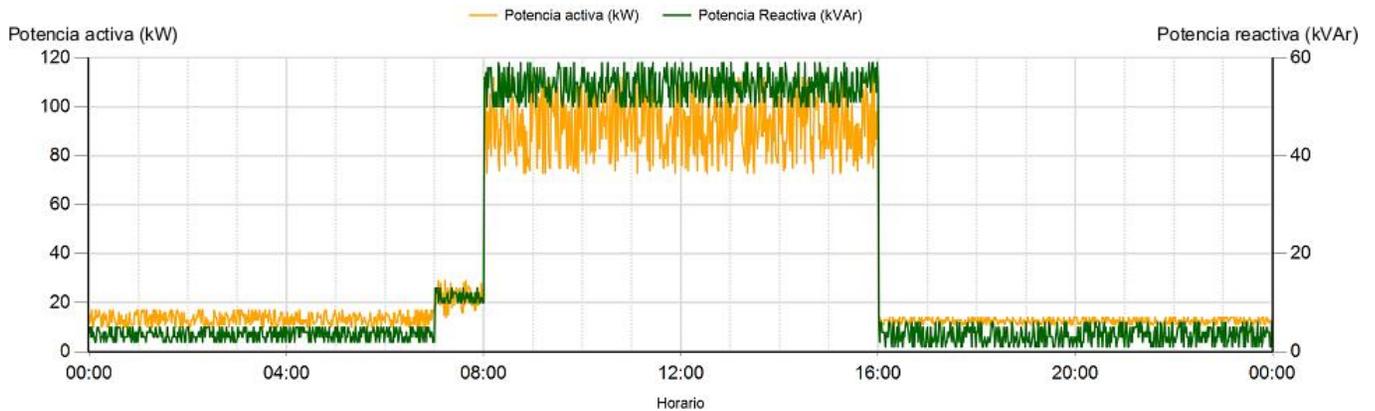


Figura 2 - 17. Gráfico de potencia activa total y reactiva total

Utilizando los valores graficados se obtienen un grupo de datos importantes para el análisis de estos parámetros los cuales son incluidos en el reporte. Entre ellos están los valores promedios, máximos y mínimos así como los horarios en que se han registrado los mayores picos de cada una de las potencias.

Posteriormente se desglosa estas potencias totales en cada una de las fases. Esta representación permite ver en un mismo instante de tiempo cuál es el comportamiento por fase, con lo que se puede detectar anomalías que estén provocando picos indeseables en las curvas de potencia. Además constituye una herramienta muy útil a la hora de hacer un estudio de reacomodo de cargas, puesto que se puede ver cuándo entran en servicio los equipos de mayores capacidades y el efecto que provocan en los niveles de potencia activa y reactiva. Los análisis más completos utilizando estos gráficos se lograrán en correspondencia al nivel de conocimiento que se tenga de la instalación que se esté analizando. Para facilitar este estudio y la toma de decisiones enfocadas a mejorar el comportamiento energético de la entidad se incorpora información sacada de los valores graficados para cada una de las fases. Finalmente se incluyen las observaciones que el especialista incorpore como parte de este análisis.

2.3.2 Demanda

El uso de la electricidad responde a las necesidades de los usuarios y como éstas no permanecen constantes, se producen variaciones en la demanda. Una forma de analizar esta variación es por medio de una representación gráfica donde en el eje de las ordenadas se sitúa la demanda de potencia activa y en el de las abscisas, el tiempo, obteniéndose un gráfico escalonado con intervalos de 15 minutos. Al ser

iguales los intervalos de tiempo, resulta fácil comparar entre los distintos períodos y llegar a conclusiones sobre el comportamiento del estado de las cargas en la instalación. Con ayuda de esta curva se puede realizar un reacomodo de cargas que haga que la demanda de energía sea lo más constante posible. En el reporte aparece este gráfico cuya representación se ve en la figura 2-18. En él se incluye la demanda máxima contratada representada por una línea roja.

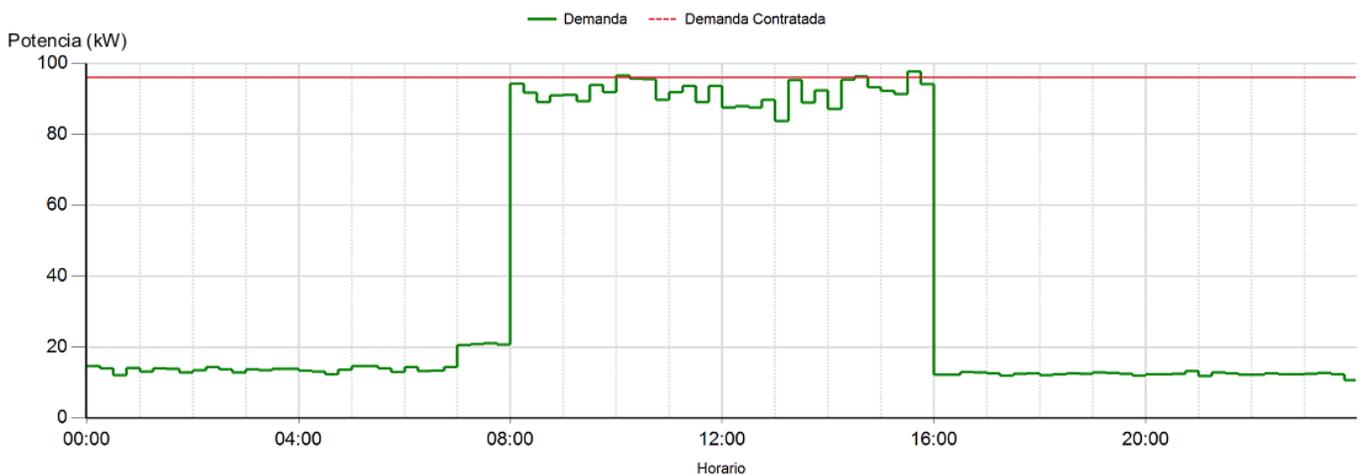


Figura 2 - 18. Gráfico de demanda en el tiempo

A continuación se incluyen un grupo de datos que son o bien calculados por sistema o introducidos por el usuario a través de la Web. Estos reflejan el comportamiento de la instalación en el día típico escogido para analizar la demanda. Entre estos elementos podemos destacar:

Capacidad instalada: No es más que la potencia nominal total de todos los receptores de la edificación. Este valor permite realizar una primera evaluación del límite superior de los valores de la carga.

Factor de demanda: Es la relación existente entre la demanda máxima y la capacidad instalada:

$$F_{dem} = \frac{D_{m\acute{a}x}}{C_{inst}} \quad (2 - 27) \quad \text{donde:} \quad D_{M\acute{a}x} \text{ Demanda máxima [kW]}$$

$$C_{inst} \text{ Capacidad instalada [kW]}$$

El valor máximo del factor de demanda es uno, pero usualmente se está lejos de esa cifra, debido a que, entre otros factores, no todas las cargas están a su máxima capacidad al mismo tiempo y que no siempre es necesaria toda la carga de iluminación o acondicionamiento de aire en determinados períodos. Cada tipo de instalación tiene un factor de demanda específico coincidiendo en cierta medida para instalaciones similares, pero no existen reglas que definan con exactitud su comportamiento.

Demanda promedio: Es la media de todas las demandas que ocurrieron en el lapso del día.

Factor de carga: El hecho de no mantenerse constante la carga en una instalación provoca que las capacidades de transformación estén subutilizadas durante una buena parte del día, con las consabidas

pérdidas económicas. Este indicador da una idea del grado de utilización de un sistema y se expresa como la relación entre la carga promedio y la demanda máxima.

$$F_c = \frac{C_{prom}}{D_{m\acute{a}x}} \quad (2 - 28) \quad \text{donde } C_{prom} \text{ Carga promedio [kW]}$$

$$D_{m\acute{a}x} \text{ Demanda máxima [kW]}$$

Factor de planta nominal: Se define como la relación entre la demanda promedio y la capacidad instalada e informa acerca de la utilización promedio de la instalación.

$$F_{pt} = \frac{D_{prom}}{C_{inst}} \quad (2 - 29) \quad \text{donde } D_{prom} \text{ Demanda promedio [kW]}$$

$$C_{inst} \text{ Capacidad instalada [kW]}$$

Densidad de carga: Indica cuál es la carga por unidad de área. Es utilizada para medir las necesidades eléctricas de un área. Se calcula como:

$$D_{carga} = \frac{C_{inst}}{A} \quad [\text{kW} / \text{m}^2] \quad (2 - 30) \quad \text{donde } A \text{ Área [m}^2\text{]}$$

Energía consumida: Es el área bajo la curva de potencia y la metodología más rápida sigue la ecuación:

$$E_{consumida} = D_{prom} * 24 \text{ horas [kWh]} \quad (2 - 31) \quad \text{donde } D_{prom} \text{ Demanda promedio [kW]}$$

Luego de presentar estos resultados se brindan algunos comentarios que ayudan a la comprensión de las condiciones de demanda que presenta la instalación. Finalmente se incluyen las valoraciones del especialista a manera de conclusiones del tema.

2.3.3 Factor de potencia

Es conocido que cuanto más bajo es el factor de potencia (FP), se requiere más corriente para conseguir la misma cantidad de energía útil. Es por ello que conocer cómo se comporta esta variable durante el día permite identificar, entre otros factores, qué cargas provocan una caída por debajo de los niveles deseables. Estos intervalos aunque pudieran no afectar la factura eléctrica mensual, influyen directamente en el consumo, pues en ellos la eficiencia en la utilización de la energía disminuye. Esta información es muy útil para tratar de forma efectiva el ahorro energético y económico de la instalación.

Este reporte comienza presentando una gráfica que refleja el comportamiento del factor de potencia total durante el día típico seleccionado (ver figura 2-19). Su estudio, unido a los correspondientes a cada una de las fases, permite distinguir cuál de ellas está provocando variaciones no deseadas en el factor de potencia total. Además se pueden detectar los equipos que afectan directamente este parámetro, en qué horarios aparecen las mayores afectaciones, cuál es el comportamiento promedio, entre otros datos. Otro elemento que es posible analizar es, en el caso de que la instalación posea un banco de capacitores, como está siendo su comportamiento ante la entrada o desconexión de las distintas cargas.



Figura 2 - 19. Factor de potencia total en el tiempo

Al igual que en reportes anteriores, se incluyen datos informativos para el factor de potencia total y para cada una de las fases, así como valoraciones para auxiliar la toma de decisiones de los especialistas. Estas tienen como objetivo que, junto a los elementos que se brindaron en el análisis anterior del factor de potencia, se logre mejorar los niveles de esta variable hasta llegar a obtener bonificaciones.

2.3.4 Frecuencia

Desde el punto de vista del suministro, los parámetros de frecuencia, amplitud, forma y simetría de la onda se consideran constantes en la generación [65]. Sin embargo, en el proceso de distribución estas magnitudes sufren alteraciones que pueden afectar a los usuarios. A pesar de ello, las medidas para controlar la frecuencia de la energía eléctrica están en su mayoría fuera del alcance de los usuarios, lo que no quiere decir que por ello no sea importante conocer su comportamiento.

En cualquier caso, la frecuencia de la onda de tensión debe permanecer dentro de límites estrictos para que el suministro se realice con una calidad aceptable. Sobre este punto en el Reglamento Electrotécnico Cubano NC 800-1:2011 se establece que *“la frecuencia para los sistemas electroenergéticos de distribución que se utilizan en Cuba será de 60 Hz con una tolerancia de $\pm 1\%$ ”* [66]. Para el estudio del comportamiento de la frecuencia se incluyó un gráfico de esta variable durante el día seleccionado (ver figura 2-20). En él se incorporaron dos líneas rojas que reflejan los límites superior e inferior de tolerancia y una línea naranja que marca la frecuencia nominal en 60 Hz.



Figura 2 - 20. Gráfico de frecuencia vs tiempo

La calidad de la energía se evalúa por las transgresiones de las tolerancias en los niveles de las distintas variables en los “Períodos de Control” cuya duración pueden ser diarias, semanales o mensuales. De manera de darle al especialista los datos necesarios para evaluar este parámetro en un período de control diario, se incluyen en el reporte resultados tales como la frecuencia máxima y mínima registrada y el horario en que ocurrieron, la frecuencia promedio, la cantidad de lecturas que sobrepasaron los límites superior e inferior o la variación sostenida media de la frecuencia. Las ecuaciones que caracterizan estos indicadores son:

Variaciones Sostenidas de Frecuencia (Δf_k): Es el indicador principal para evaluar la frecuencia en un intervalo de medición (k) de quince minutos. Es la diferencia entre la media de los valores instantáneos y el valor nominal de la frecuencia del sistema (f_N). Permite que picos momentáneos de frecuencia sean atenuados en el tiempo [67]. Este indicador debe estar en el rango de $\pm 0,6\%$ y se rige por la ecuación:

$$\Delta f_k = (m_f - f_N) / f_N * 100 \quad [\%] \quad (2 - 32) \quad \text{donde} \quad m_f: \text{Media de los valores instantáneos de la frecuencia}$$

f_N : Frecuencia nominal del sistema.

Calidad de la frecuencia: Se considera que este parámetro es de mala calidad cuando:

- Las Variaciones Sostenidas de Frecuencia permanecen fuera del rango de tolerancias por un tiempo acumulado superior al 1% del Período de Medición. En un día serían 15 mediciones fuera de rango.
- Si el 95% de las lecturas en un día cada un minuto no están entre $\pm 5\%$ de la frecuencia nominal.

Además de estos elementos, en el reporte se aparece un gráfico del comportamiento de las Variaciones Sostenidas de Frecuencia en el tiempo (Ver gráfico 2-21). Este gráfico de densidad de variaciones permitirá ver en qué rango de Δf_k está el mayor número de mediciones, cuáles fueron sus límites y en que horario ocurrieron estos comportamientos. Con estos datos el sistema determina el valor de las variables que muestran el comportamiento temporal de la frecuencia.

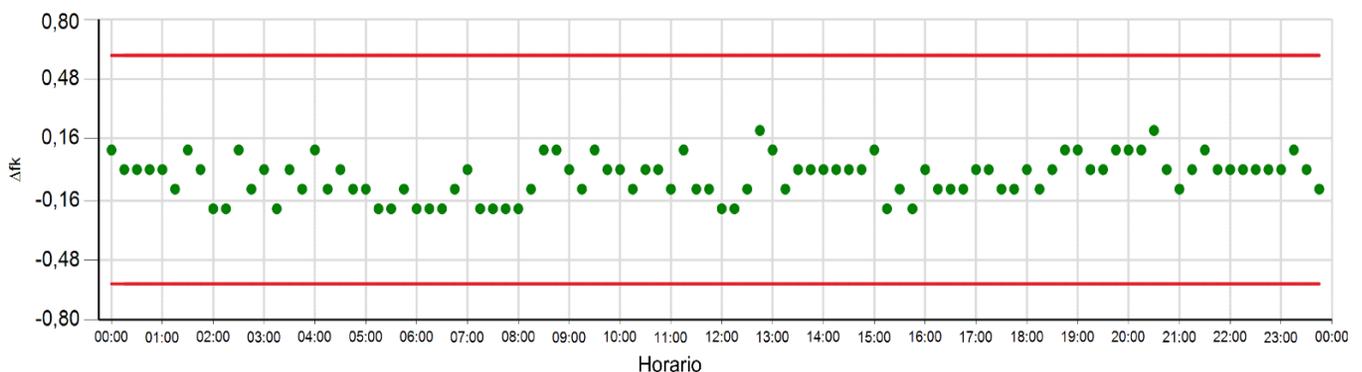


Figura 2 - 21. Variaciones Sostenidas de Frecuencia vs tiempo

Al igual que en los reportes anteriores se incorporan conclusiones a las que se pueden llegar con los resultados obtenidos. Además aparece una relación de fenómenos que pudieran presentarse en las

instalaciones cuando existen problemas en los niveles de frecuencia. Para finalizar se incluyen las consideraciones del especialista con relación al comportamiento de esta variable.

2.3.5 Energía activa y reactiva

Para optimizar el consumo de energía sin afectar el confort se hace necesario caracterizar, entre otros aspectos, el consumo de energía activa y reactiva en función del tiempo. Para ello se utilizan gráficos de perfiles diarios, mensuales y anuales. Estas son las herramientas fundamentales que tiene un especialista para analizar la tendencia del consumo de energía y su comportamiento en momentos específicos en los cuales ocurren determinados eventos. El primero que aparece en el reporte es el perfil del consumo de energía activa y reactiva durante el día escogido, un ejemplo se ve en la figura 2-22.

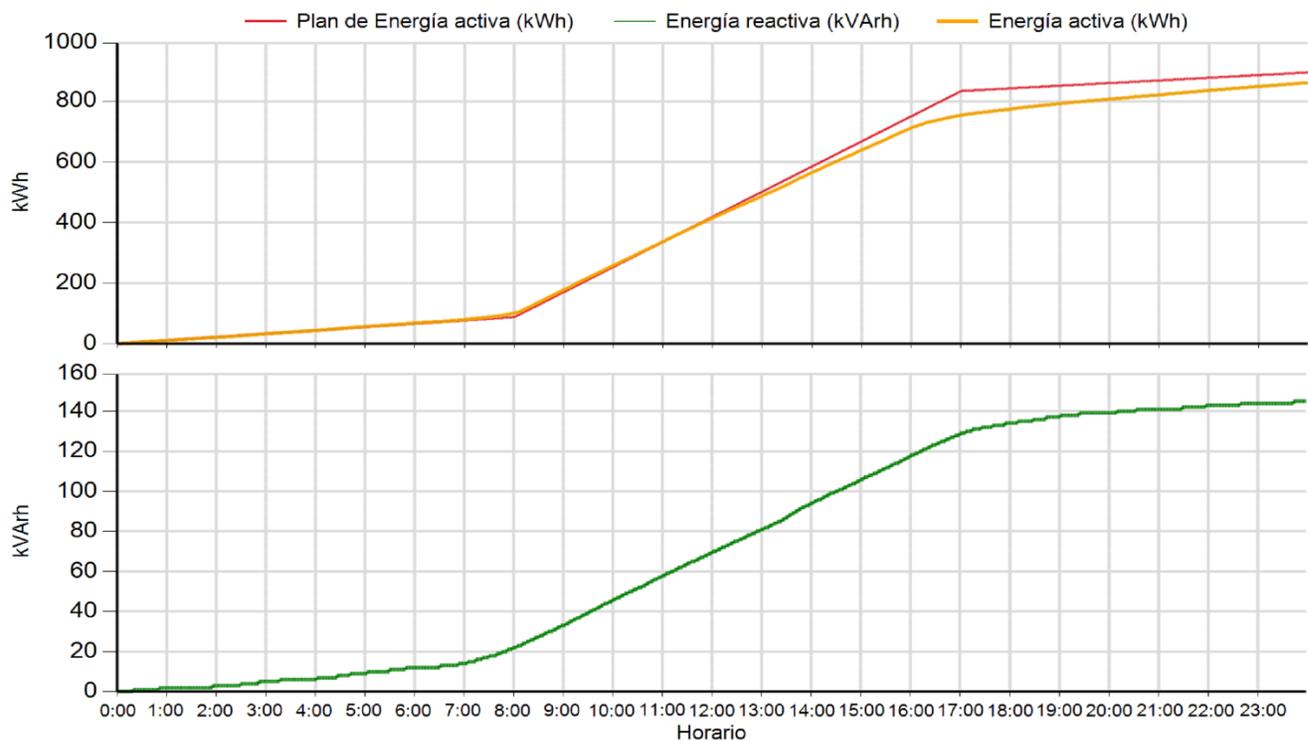


Figura 2 - 22. Gráfico de energía activa y reactiva durante el día

En la figura anterior, conjuntamente con la curva de energía activa aparece el plan de consumo desglosado por horas (línea roja). Los valores horarios de este parámetro pueden modificarse en la Web del sistema. Este gráfico permite identificar y diagnosticar qué equipos están provocando un aumento del consumo o conocer en que períodos del día este parámetro es más elevado, entre otros datos.

Junto al diagrama se brindan datos tales como el consumo medio de energía activa y reactiva, los picos máximos y la hora en que ocurrieron, el consumo en horario laboral y fuera de este y que porcentaje representa. Con estos datos, se sacan conclusiones parciales que dan criterios imprescindibles a la hora de tomar decisiones sobre cómo mejorar los niveles de consumo de ambas variables.

El segundo gráfico de la figura 2-22 representa el consumo total de energía activa y reactiva en cada uno de los días del mes escogido. El plan establecido en la Web para cada uno de los días se dibuja en color rojo en el gráfico de energía activa. En él es posible analizar los días que tuvieron altos niveles de consumo y, con un conocimiento detallado de las actividades que se realizaron, tomar medidas para disminuir estos niveles en los meses venideros. Es posible también comparar el consumo en los días que no existe actividad laboral, ver cuánto se está consumiendo y si este comportamiento ocurre repetidamente. Estos y otros elementos, además de poderlos detectar en una inspección visual, son ofrecidos como observaciones de interés en el reporte.

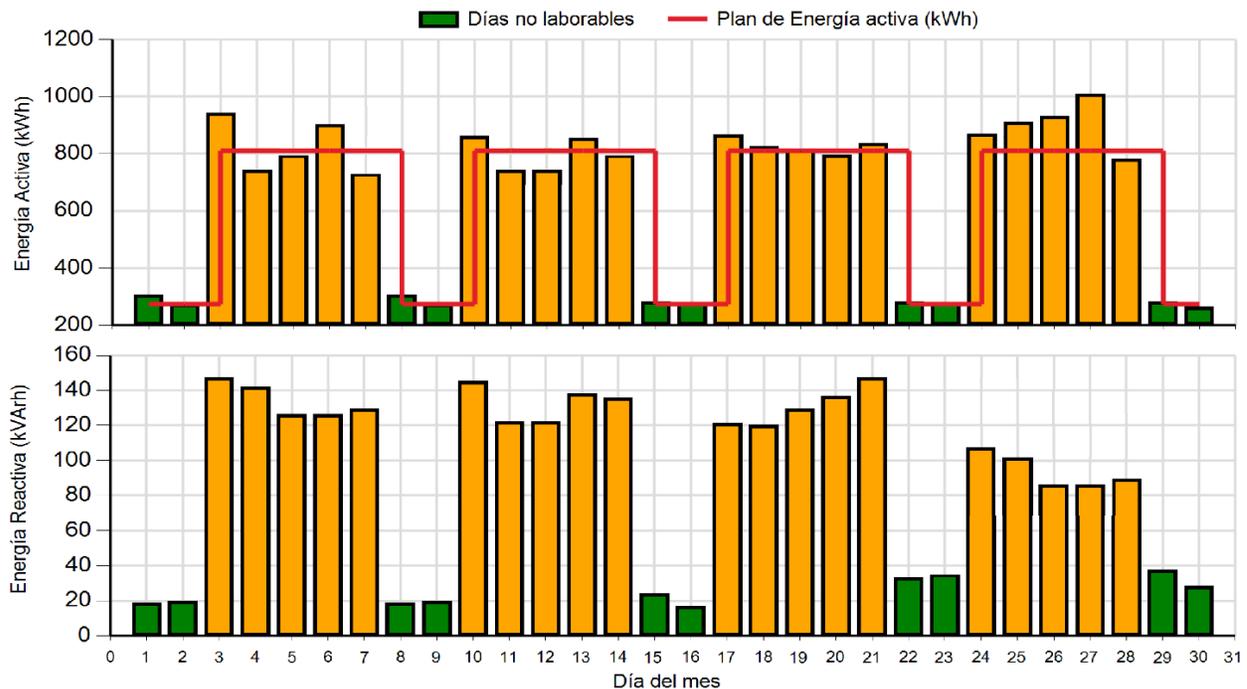


Figura 2 - 23. Gráfico de energía activa y reactiva durante el mes

Finalmente se presenta un gráfico que corresponde al consumo mensual de ambas energías en un período no mayor de un año. Con ello es posible definir qué meses han tenido mayor relevancia cuando se analizan los niveles de consumo, cuáles tienen mayor margen de mejora o que comportamientos pudieran haber provocado picos de consumo tan elevados que se reflejan a lo largo de uno o varios meses. Aunque este enfoque fue tratado en un reporte anterior, siempre es útil poder comparar el comportamiento de ambas energías en el tiempo, siendo este análisis un complemento al que el usuario pudiera haber desarrollado con la información anterior. Para culminar se incluyen los criterios que pudiera tener el especialista en referencia a este tema como complemento al estudio realizado por el sistema.

2.3.6 Tensiones

Los fabricantes diseñan sus equipos en niveles de tensión normados por el sistema, de manera que las desviaciones dentro de esos límites no afectan el funcionamiento. Cuando estos están fuera del rango

aceptable debido a una mala calidad en el suministro eléctrico traen afectaciones a los distintos procesos donde las pérdidas económicas y materiales que se generan pueden llegar a ser importantes.

El primer grupo de gráficos que se presenta en este reporte son 3 curvas que ilustran las lecturas de tensión instantánea (una lectura por minuto) en cada una de las fases durante el día elegido, como se ve en la figura 2-24. En ellos se distingue el nivel de tensión nominal existente en la instalación con una línea de color gris. Además se incluyen dos líneas naranjas y dos rojas para delimitar los rangos deseables y aceptables respectivamente, según los niveles de tensión especificados en la norma ANSI C 84.1 [57], [65], [68]. Una tabla con los rangos para cada una de las tensiones nominales se exhibe en el Anexo 11.

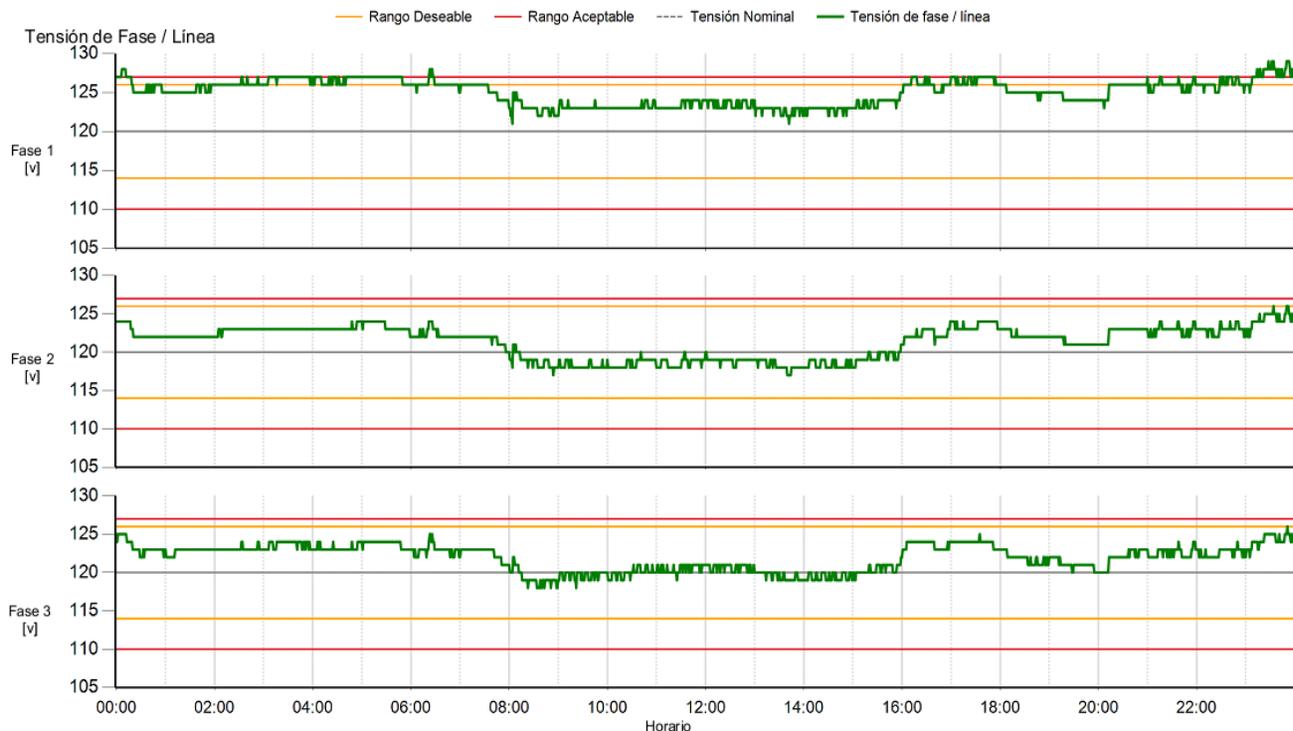


Figura 2 - 24. Gráfico de niveles de tensión

Junto con los gráficos, se brindan un grupo de datos que son de interés a la hora de analizar la calidad de la energía en cuanto a los niveles de tensión. Además se sugieren algunos fenómenos que pudieran ocurrir en edificaciones con niveles de tensión que estén fuera de los rangos aceptables tales como [69]:

- Aceleración del envejecimiento del aislamiento de los equipos, como resultado de un calentamiento más intenso y del reforzamiento de procesos de ionización lo que aumenta las tasas de averías.
- La disminución del tiempo de vida útil de lámparas y la aparición de flicker de tensión.
- El aumento de las demandas de potencia reactiva de los equipos eléctricos, lo que aumenta las pérdidas de energía en las redes y al empeoramiento progresivo de las condiciones de tensión.

Alguna de las normas que tratan sobre caracterización de la calidad de la energía eléctrica son la EN-50160 [70], la IEC 61000-4 [71] y la IEEE 1159-1995 [72]. De ellas la última es la utilizada en Cuba.

La norma IEEE 1159-1995 define siete categorías distintas de fenómenos electromagnéticos en las redes eléctricas, como se indica en la tabla presentada en el Anexo 12. La categoría de variaciones de corta duración comprende los huecos de tensión, las interrupciones y las crestas o “swell”. Cada tipo se clasifica en instantáneo, momentáneo o temporal dependiendo de su duración. Las variaciones de corta duración ocurren en intervalos de tiempo muy pequeños, por lo que determinar su clasificación es imposible con este sistema. Lo que sí es posible determinar es la naturaleza del evento y la magnitud de la misma. En el caso de los eventos de larga duración si es posible detectarlos puesto que su persistencia es superior al minuto, conociéndose además su duración aproximada. Con esta información se conforma una tabla como la que se presenta seguidamente en la tabla 2-10.

Tabla 2 - 10. Fenómenos electromagnéticos detectados.

Evento	Cantidad	Duración media (min)	Magnitud media (v)	Causas más probables

En esta tabla se incluyen algunas de las causas que pudieran estar provocando estos fenómenos, los cuales pueden manifestarse por alteraciones en la línea de distribución o en la misma instalación. En el Anexo 13 es posible ver una relación de algunos de estos eventos. En caso de que se detecte alguno de ellos se incorporan en el reporte, según correspondan, los siguientes parámetros:

- **Profundidad media de los huecos de tensión:** La diferencia entre la tensión nominal (U_{ref}) y el valor de la tensión alcanzada durante el hueco es el parámetro conocido como Profundidad del Hueco de Tensión (U_{min}), que se rige por la siguiente ecuación [73]:

$$U_{hueco} = \frac{U_{ref} - U_{min}}{U_{ref}} \quad (2 - 33)$$

Durante un día puede ocurrir este fenómeno en muchas ocasiones por lo que el promedio de las distintas profundidades es la “*profundidad media de los huecos*” [65]. Además en este análisis se especifica del total de huecos detectados, cuantos tienen profundidad entre 10% y 30%, entre 30% y 80% y superior al 80% de la tensión de referencia.

- **Altura media de las crestas de tensión:** Este parámetro es similar al visto para los huecos, pero en este caso es el promedio de los valores de las altura alcanzadas durante las crestas.

$$A_{cresta} = \frac{U_{ref} - U_{max}}{U_{ref}} \quad (2 - 34)$$

Se especifica cuántas de las crestas detectadas están entre 110% y 130%, entre 130% y 180% y superior al 180% de la tensión de referencia.

Luego del estudio de las anomalías asociadas a fenómenos electromagnéticos, es momento de prestar atención a otro aspecto y es el desbalance de tensión (D_T). Este ocurre cuando las tensiones entre las

tres líneas no son iguales y puede ser definido como “la mayor de las desviaciones respecto al valor promedio de las tensiones de línea, dividida entre el promedio de las tensiones de línea, expresada en porcentaje” [66].

$$D_T = \left[\frac{\text{Max}(|V_1 - V_{prom}|, |V_2 - V_{prom}|, |V_3 - V_{prom}|)}{V_{prom}} \right] * 100 \text{ [%]} \quad (2 - 35) \quad \text{donde}$$

V_{prom} : Tensión promedio [V]

V_1, V_2, V_3 : Módulos de las tensiones [V]

Utilizando esta ecuación y conociendo que para considerar el desbalance de tensión como “estable” debe permanecer entre 0,5% a 2% [72], se evaluar cómo se comporta esta variable durante el día escogido. Para lo cual se calcula el desbalance en cada una de las lecturas de tensión y se construye un gráfico de porcentaje de desviación contra tiempo donde los límites son marcados con líneas de color rojo. Un ejemplo de este gráfico se muestra a continuación en la figura 2-25.

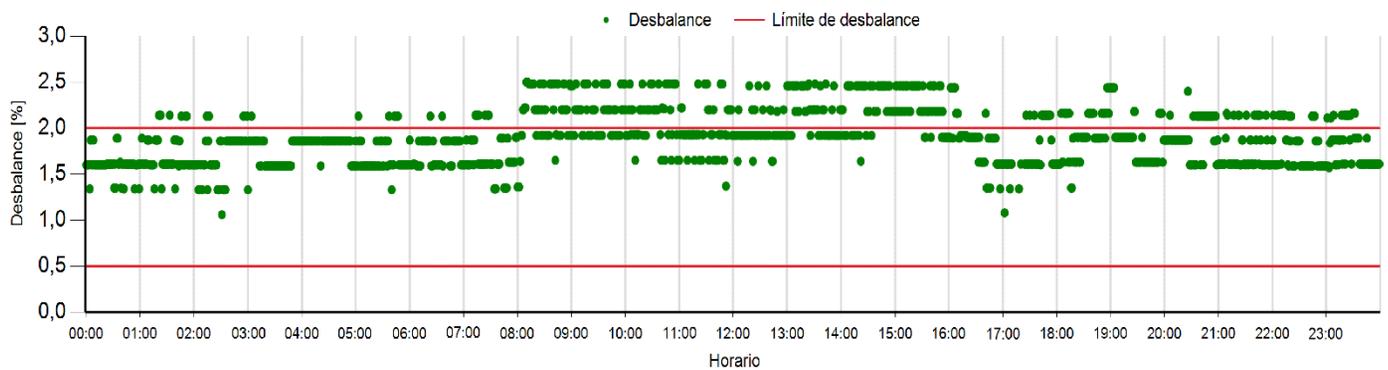


Figura 2 - 25. Gráfico de desbalance de tensión en el tiempo

El desbalance es una de las condiciones anómalas más generalizada en los sistemas eléctricos y que debido a los efectos nocivos que provoca debe prestársele la adecuada atención. Para facilitar este estudio en el reporte se incluyen algunos de los efectos perjudiciales que trae consigo tener altos niveles de desequilibrio así como una relación de las causas fundamentales que lo originan. Para concluir el estudio el especialista puede incluir a través de la Web sus consideraciones.

2.3.7 Corrientes

Cuando se habla de Calidad de la Energía Eléctrica, se hace referencia tanto a la calidad de las señales de tensión y corriente, como a la continuidad o confiabilidad del servicio. En el epígrafe anterior se hizo un estudio de los niveles de tensión, en este se hará lo propio con las corrientes en cada una de las fases. Para ello en el reporte se muestra un gráfico con lecturas cada un minuto de los niveles de corrientes en cada una de las fases durante el día tipo, como se ve en la figura 2-26. En él aparece marcado con una línea naranja la media de los valores de corriente para cada una de las fases [73].

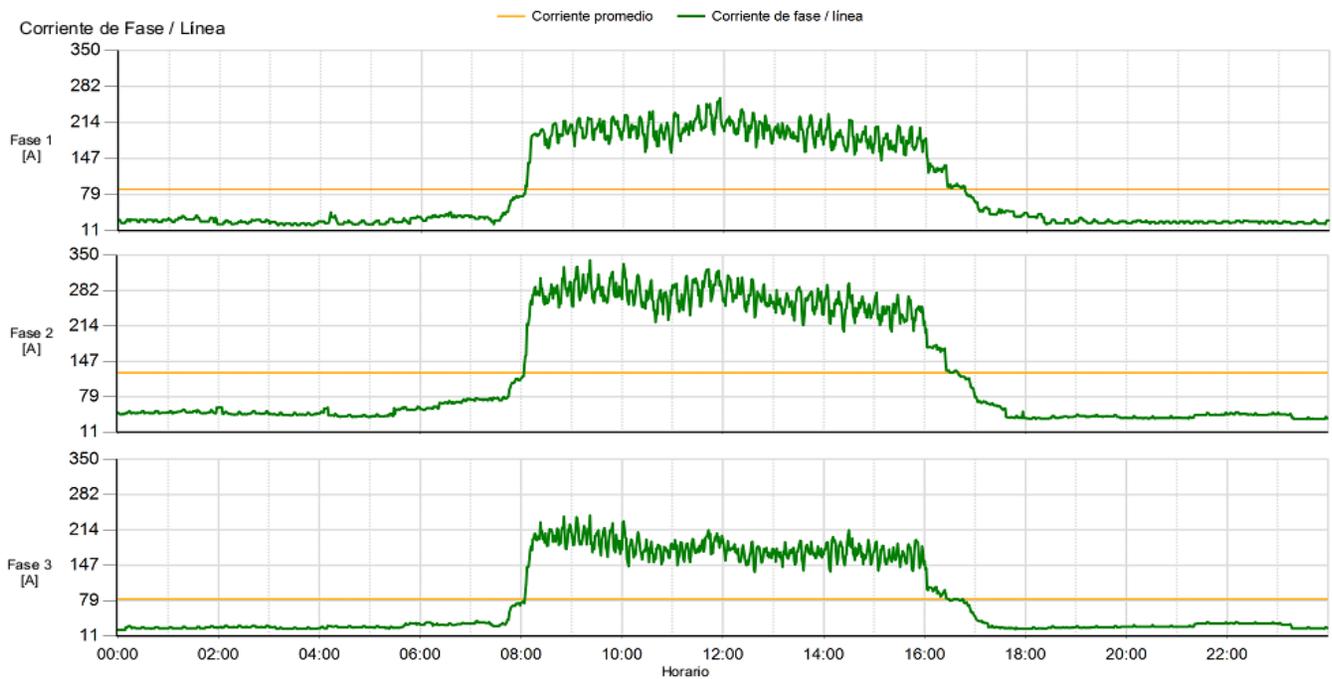


Figura 2 - 26. Gráficos de corriente en el tiempo

Si se analiza este gráfico conjuntamente con el realizado en el reporte anterior, resulta evidente que las causas y efectos sobre la tensión y la corriente en cualquier sistema no son estrictamente separables. Por ello, cualquier estudio que se pretenda hacer con estas curvas debe ser realizado en conjunto con los gráficos de tensión; ya que el comportamiento de la corriente es consecuencia del comportamiento de la tensión. Para facilitar este estudio se brindan un grupo de valores importantes sacados del gráfico tales como máximo y mínimos por fases así como los horarios en que ocurren, variación e intensidad media, tanto para el horario laboral como para el día completo, entre otros elementos.

El desbalance de corriente en los sistemas de potencia, es una ineficiencia que no debe subestimarse dado que valores elevados producen un efecto negativo en el consumo de energía, los costos y el impacto ambiental. En la práctica, un sistema perfectamente balanceado en corriente o tensión no existe, lo que hace que se produzcan diferencias entre las intensidades que circulan por las fases de un sistema trifásico. La ecuación empleada para conocer el desequilibrado o desbalance de corriente es:

$$D_I = \left[\frac{\text{Max}(|I_1 - I_{prom}|, |I_2 - I_{prom}|, |I_3 - I_{prom}|)}{I_{prom}} \right] * 100 [\%] \quad (2 - 36) \quad \text{donde}$$

I_{prom} : Corriente promedio [A]

I_1, I_2, I_3 : Módulos de las corrientes [A]

Tomando como límite para el desbalance de tensión el valor de 2% propuesto por las normas IEC 61000-2-2 y IEEE 1159-1995, se tiene que el desbalance máximo en corriente es 10% [74]. Con este criterio se calcula para cada minuto el valor del desequilibrio y se confecciona un gráfico donde el límite se marca

en color rojo (ver figura 2-27). Junto con el gráfico se incluyen algunas de las causas que pudieran provocar este comportamiento así como las afectaciones que pudiera experimentarse en una edificación con altos niveles de desbalance [57].

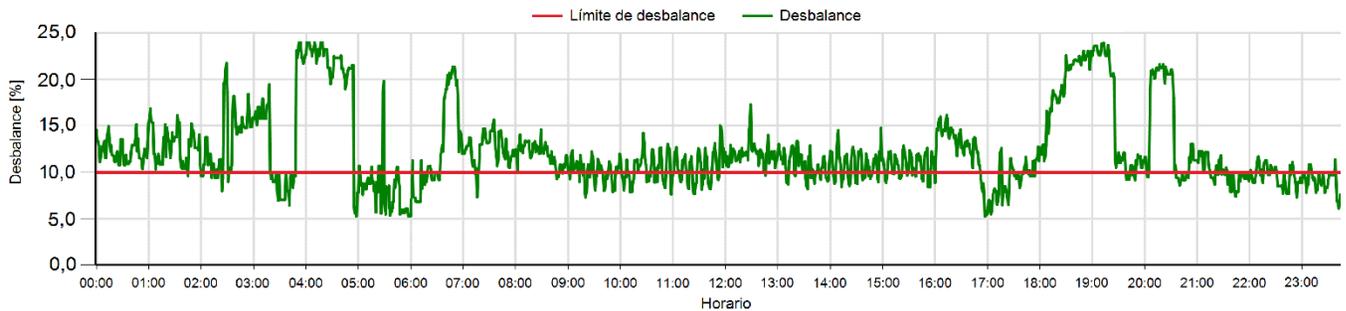


Figura 2 - 27. Gráficos de desbalance de corriente en el tiempo

Los sistemas trifásicos están formados por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud que presentan una diferencia de fase entre ellas en torno a 120°. Un sistema en estas condiciones se dice que es *equilibrado* puesto que sus corrientes son iguales y están desfasadas simétricamente. Cuando alguna de estas condiciones no se cumple, el sistema está desequilibrado o más comúnmente llamado un *sistema desbalanceado* [74]. Con el objetivo de que se pueda analizar con mayor detalle este aspecto, en el reporte se incluyen los gráficos y la tabla presentada en la figura 2-28.

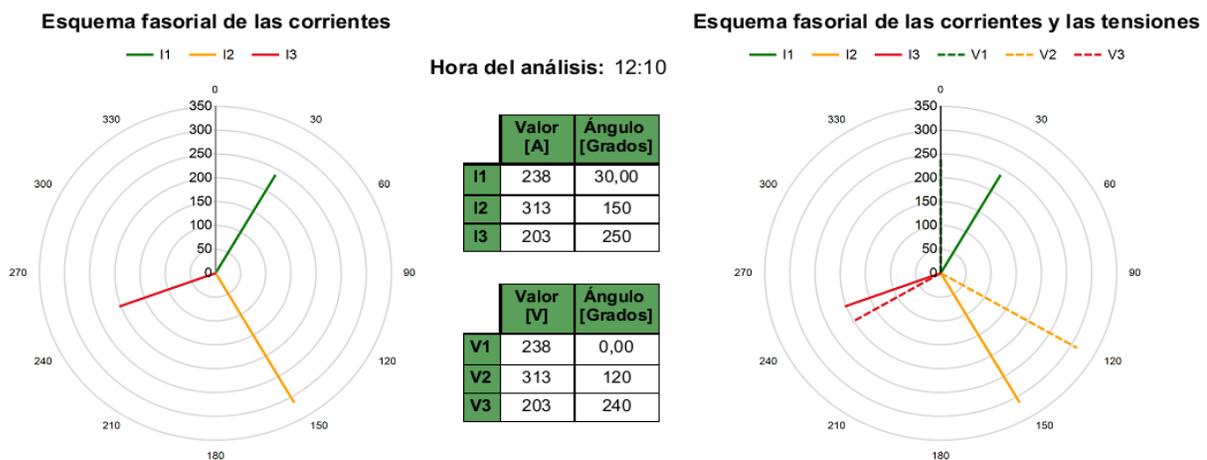


Figura 2 - 28. Diagramas fasoriales

Las tablas de la figura 2-28 contienen los valores instantáneos de cada parámetro, mientras que los gráficos corresponden a un diagrama fasorial de las corrientes y otro que contiene además las tensiones para ese mismo instante de tiempo. El horario es elegido en la Web utilizando una línea de tiempo del día seleccionado, lo que permite ver la evolución adelantando y retrocediendo el control antes de seleccionar el instante que quedará reflejado. Luego de presentados los análisis se realizan algunas observaciones que proponen elementos adicionales a la hora de sacar conclusiones sobre los datos presentados. Igualmente se incluyen las observaciones que sobre el tema introduzca el usuario en la Web.

2.3.8 Armónicos

La distorsión armónica es una forma de ruido eléctrico definido como “la sobre posición de señales en múltiplos de la frecuencia fundamental de la potencia sobre la onda sinodal de la misma” [66]. Su presencia distorsiona la forma de la onda de tensión o corriente; cuanto mayor sea el contenido de armónicos, mayor será el grado de distorsión. En las redes trifásicas de distribución los armónicos que se encuentran con mayor frecuencia son los de orden impar. Por lo general, la amplitud de los armónicos decrece a medida que la frecuencia crece.

La Distorsión Total de Armónicos (*Total Harmonic Distortion*, THD) es un indicador utilizado para definir el nivel de armónicos contenido en señales alternas [75]. Está definido en la norma IEC 61000-2-2 como “la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas y el valor eficaz correspondiente a la componente fundamental” [71]. La THD expresa la distorsión que afecta a la corriente o a la tensión en un determinado punto de una instalación. Para calcular este factor se aplican las ecuaciones 2-37 y 2-38:

$$THD_I (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} I_i^2}}{I_1} * 100\% \quad (2 - 37) \quad \text{donde } i: \text{Número de armónica}$$

I_1 : Valor eficaz de la onda fundamental de la corriente

I_i : Valor eficaz de la corriente del armónico i

$$THD_V (\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} V_i^2}}{V_1} * 100\% \quad (2 - 38) \quad \text{donde } i: \text{Número de armónica}$$

V_1 : Valor eficaz de la onda fundamental de la tensión

V_i : Valor eficaz de la tensión del armónico i

Cualquiera de los medidores inteligentes incorporados al sistema es capaz de dar estos indicadores para las tres fases en cualquier instante de tiempo. Por defecto en la Web aparece el día que fue escogido para hacer el estudio anterior, aunque este puede ser cambiado según el interés del especialista. Posteriormente el sistema crea gráficas de THD_V y THD_I vs tiempo para cada una de las tensiones y las corrientes respectivamente. Una imagen de este gráfico aparece en la figura 2-29.

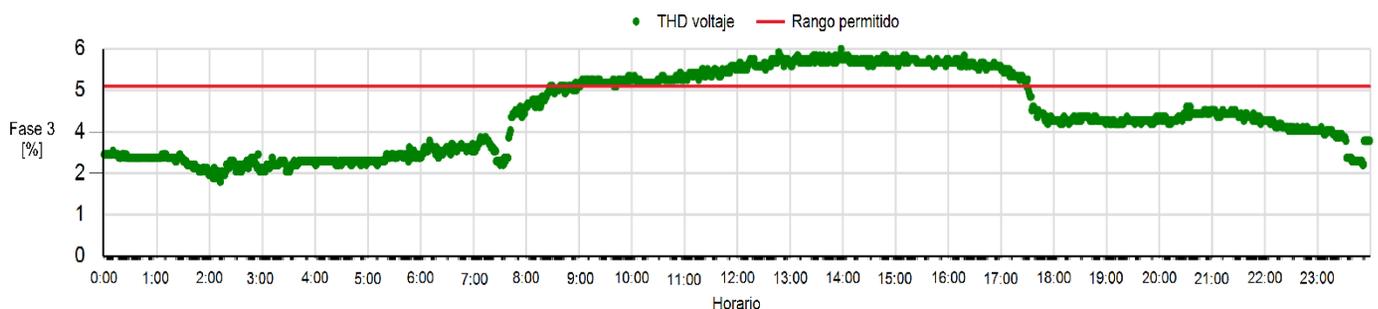


Figura 2 - 29. Distorsión Total de Armónicos de tensión en el tiempo

El Reglamento Electrotécnico Cubano [66] establece, para cada uno de estos indicadores, límites que deben ser supervisados. Estos niveles (*Permitido* y *No permitido*) son marcados con líneas de color amarillo y rojo respectivamente. En el Anexo 14 aparecen otros detalles sobre los niveles límites de THD.

Seguidamente en el reporte aparece una tabla resumen que contiene información significativa de cada una de las gráficas anteriores. Con ello el especialista tiene la posibilidad de ver de forma más sencilla los principales resultados obtenidos. Entre los parámetros que se brindan están:

- Valores máximos, mínimo y medios.
- Los horarios en que ocurren los valores anteriores.
- Cantidad de lecturas en el rango normal, permitido y no permitido.
- Horario de peor y mejor comportamiento.

Posteriormente se procede a confeccionar el espectro de los armónicos mediante la representación de la distorsión armónica individual con respecto al orden del armónico. Así se representa en un diagrama de barras el porcentaje de cada una de las señales armónicas impares, cuya suma produce la señal total analizada. Adelantando y retrocediendo en la Web una línea de tiempo, es posible ver la evolución de este parámetro antes de seleccionar el momento que quedará registrado en el reporte. De esta manera se incorpora un gráfico de espectro de armónicos para cada una de las tensiones y corrientes donde la primera columna, marcada en color negro, es el THD registrado para ese instante. Un ejemplo de espectro de armónicos de tensiones aparece en la figura 2-30.

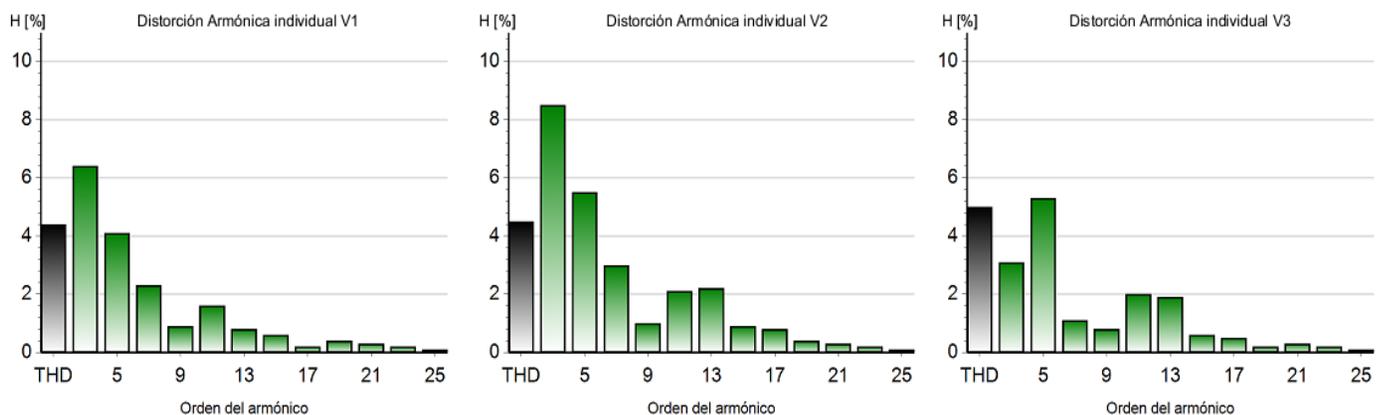


Figura 2 - 30. Espectro de armónicos de tensiones

Luego de estos análisis, en el reporte se incluye una lista de las fuentes principales de armónicos, las consecuencias que trae de su presencia en una instalación así como algunas medidas para mitigar estos efectos nocivos. Estos elementos se escogen dentro de un grupo teniendo en cuenta datos obtenidos de la instalación en análisis anteriores tales como tipo de instalación, equipos presentes, etc. Finalmente se incluyen las consideraciones que introduzca el especialista a través de la Web.

2.4 Conclusiones parciales

Luego de concluir el estudio de cada uno de los reportes que componen el Módulo de Diagnóstico Energético es posible arribar a las siguientes conclusiones:

- El Módulo de Diagnóstico Energético está dividido en 3 bloques de análisis; cada uno de los cuales está diseñado con el objetivo de ofrecer al usuario información que le permita realizar revisiones energéticas más completas y efectivas, disminuyendo el tiempo necesario para su culminación.
- Se analizan temas de la gestión energética de la empresa, el impacto ambiental y la situación del sistema eléctrico, detectando problemas y estableciendo indicadores a la vez que se brindan posibles soluciones y medidas para mejorar el desempeño energético. Este es un nicho de posibilidades que no es totalmente explotado por los softwares de gestión energética existentes en el mercado.
- Toda la información se obtiene de los datos suministrados por el usuario, ya sea a través de la Web o de las facturas eléctricas, y de las lecturas de los medidores inteligentes. Esta información, que puede ser una lectura actual o un registro histórico, van pasando progresivamente por distintas capas de análisis hasta que se obtiene el informe que llega al usuario.
- Estos estudios realizados de manera automática permiten librar al especialista de un grupo de tareas engorrosas por el cúmulo tan alto de información que se obtiene de la encuesta de los medidores inteligentes. Haciendo que este se pueda centrar en temas que el sistema no es capaz de detectar o complementar. Esto no es más que obtener del conjunto hombre-máquina las mejores prestaciones de cada uno de ellos, de una manera fácil e interactiva.
- Este módulo es una herramienta de mucha utilidad en cada una de las 4 etapas de la ISO 50001 al permitir entre otras funcionalidades monitorear el estado y comportamiento histórico de los indicadores de eficiencia energética, detectar oportunidades de mejora en los niveles de consumo y comprobar cómo ha respondido el proceso ante las medidas que se hayan implementado. Todo ello complementando a otras prestaciones que ofrece el sistema XYMA. AMR-ELECTRICITY, convirtiéndola en una aplicación de monitoreo y control de la gestión energética eficaz, flexible y adaptada a las exigencias tecnológicas que impone el mercado actual.

Capítulo 3 Estudio de caso utilizando el Módulo de Diagnóstico Energético

En este capítulo se presentan los principales resultados obtenidos al aplicar la nueva herramienta del sistema XYMA. AMR-ELECTRICITY a datos reales pertenecientes a una de las dependencias de la empresa DATYS en La Habana. La entidad escogida corresponde a las oficinas de desarrollo de la empresa ubicada en 1era y 4 en el municipio Playa.

Los estudios están divididos en 3 epígrafes correspondientes a cada uno de los bloques de análisis, entre los cuales pueden encontrarse las medidas a aplicarse para mejorar la gestión energética, los niveles de consumo y los indicadores de eficiencia en la instalación. Además se muestran datos relacionados con el costo de la implantación del sistema, así como la recuperación de la inversión realizada.

3.1 Equipamiento utilizado en la instalación

En la arquitectura del sistema XYMA. AMR-ELECTRICITY el ordenador de placa reducida (SBC) y el medidor inteligente son equipos considerados básicos para su funcionamiento. En el caso de la instalación objeto de estudio se tiene instalado el siguiente equipamiento:

Ordenador de placa reducida FOX Board G20

FOX Board G20 es un micro-sistema hecho en Italia diseñado y construido por Acme Systems Ltd para facilitar el desarrollo de aplicaciones embebidas. Posee una arquitectura compacta con Linux preinstalado y en funcionamiento con una gama de servicios ya configurados como: Web Server Apache, base de datos SQLite, FTP y SCP para el intercambio de archivos de red, SSH para acceder a la consola de forma remota, DHCP para la adquisición automática de la configuración de red y un procesador ARM9 Atmel a 400 MHz, 8 MB DATAFLASH, 64 MB SDRAM, ranura MicroSD de hasta 8 GB, puerto serie de E/S, convertidor A/D, I2C, etc. Con este equipo es posible desarrollar aplicaciones en varios lenguajes de programación como C, C++, PHP, Python y Perl, sin necesidad de instalar ningún entorno de desarrollo en la PC. Para consultar las características generales y la arquitectura del equipo ver el Anexo 15.

Medidor de energía multifunción EM133

Está diseñado para aplicaciones de medición de energía residencial o industrial. Proporciona mediciones trifásicas multifuncional e información de calidad de suministro dividido en tarifas programables. Posee un reloj interno, memoria para los eventos y registros de datos, así como etiquetado temporal de máximos y mínimos. Incluye 16 puntos de consigna y 4 contadores que pueden ser relacionados con sus 2 entradas digitales o su salida a contacto seco, con los módulos de ampliación u otros registros MODBUS. Ofrece una amplia gama de tipos de cableado, así como conexiones versátiles de tensión e intensidad: 57 a 400 VAC, hasta 100 Amperios en medida directa de intensidad, a lo que se puede añadir transformadores de corriente estándar de distintos amperajes. Su precisión supera la clase 0,5S e incluye mediciones de armónicos y niveles de THD en tensión e intensidad. Posee comunicación a través de ASCII, DNP 3.0, Modbus TCP o RTU, DNP3/TCP, entre otros. Es considerado un medidor inteligente de gama media.

3.2 Resultados del Bloque de caracterización energética de la instalación

Datos generales de la instalación:

La instalación objeto de estudio es una edificación de dos pisos que posee una forma alargada en el sentido Norte-Sur ubicada a escasos metros del mar. No cuenta con vegetación de importancia que haga de pantalla frente a los rayos solares, por lo que estos inciden sobre ella durante todo el día. Las puertas y ventanas son de aluminio con vidrios opalescentes que dejan pasar la luz solar, lo que aumenta la carga térmica en los locales. La actividad principal que se desarrolla en esta entidad es la creación de software, lo que conlleva la presencia de un grupo grande de ordenadores y equipos de clima.

Por lo expuesto, se presupone que los equipos de climatización son los que poseen mayor incidencia en el consumo. Estos equipos y las computadoras poseen una alta simultaneidad en su uso durante la jornada laboral, la cual es de 8:00am a 5:00pm, cayendo drásticamente fuera de esta pues no es común la presencia de personal en este rango de tiempo. Los planes de consumo mensual son incumplidos en la mayoría de los meses y no se registran cargos por incumplimiento de la demanda máxima contratada.

Espacio de tiempo escogido para el diagnóstico:

El período escogido para ser analizado es de enero a diciembre del 2014. Como período base de comparación se ha tomado de enero a diciembre del 2013.

Caracterización de la de gestión energética:

Las respuestas a la encuesta hecha en el software arrojaron los resultados que aparecen en la figura 3-1:

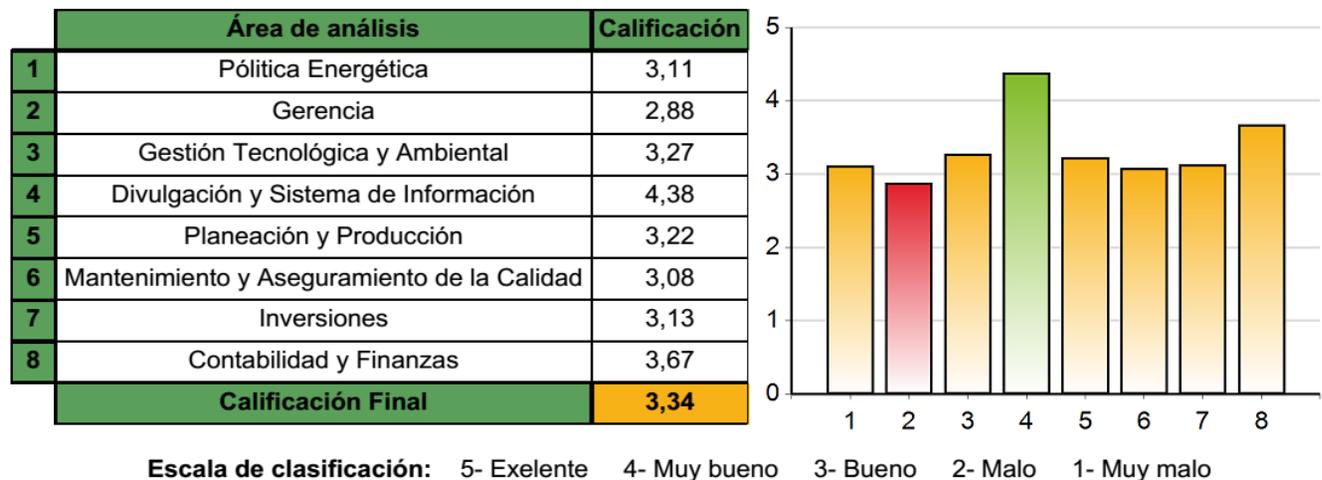


Figura 3 - 1. Resultados de la gestión energética en la empresa en el año 2014

De la matriz energética y las respuestas registradas destacan elementos tales como:

- Existe un equipo de trabajo que posee entre sus objetivos los aspectos de la administración de la energía. Esto hace que exista una base sobre la cual trabajar para mejorar los niveles de eficiencia energética en la empresa. A pesar de ello, es insuficiente la capacitación del personal clave para mantener y mejorar la eficiencia energética y los índices de consumo.

- Los proyectos de ahorro se consideran de forma aislada y no como parte de un programa de gestión energética que debe instaurarse a todos los niveles de la empresa.
- No existe o es muy deficiente el mantenimiento planificado a todos los equipos dentro de la entidad.
- Existen registros de los consumos y los costos relacionados con los portadores energéticos, pero no se cuenta con indicadores establecidos a nivel de empresa y por área productiva.
- El nivel de competencia en la gestión energética de la empresa es incompetencia consciente.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

Actualmente se cuenta con el potencial necesario para mejorar los niveles de eficiencia energética y de competencia en su gestión. Además existe una preocupación acentuada de dirección de la empresa con los temas relacionados con el consumo de energía y los costos de los portadores energéticos. Es por ello que se prevé que con la realización de esta revisión energética se logre en poco tiempo solucionar estas deficiencias a través de un programa establecido y bien estructurado que haga mejorar la gestión energética de “bueno” a “muy bueno”.

Relación entre los portadores energéticos:

En la tabla 3-1 se presenta la relación de los portadores que se manejan en la instalación.

Tabla 3 - 1. Relación de los portadores energéticos para el año 2014

	Portador energético	UM*	Cantidad	Costo	TEP**	Por ciento TEP	Por ciento Costo
1	Electricidad	MWh	277,9	67446,84	96,7	61,7	56,1
2	Diesel	Tn	17,6	18050,76	18,6	11,9	15,0
3	Gasolina Esp.	Tn	13,1	17280	17,8	11,4	14,4
4	Gasolina Reg.	Tn	12,1	14489,28	16,4	10,5	12,1
5	Lubricantes	Tn	7,3	2923,6	7,3	4,6	2,4

* UM : Unidad de Medida

** TEP: Toneladas Equivalentes de Petróleo

Con el inventario de los consumos convertidos a TEP se realiza la distribución de Pareto ofrecida en la figura 3-2, con la cual se identifican los portadores energéticos de mayor importancia.

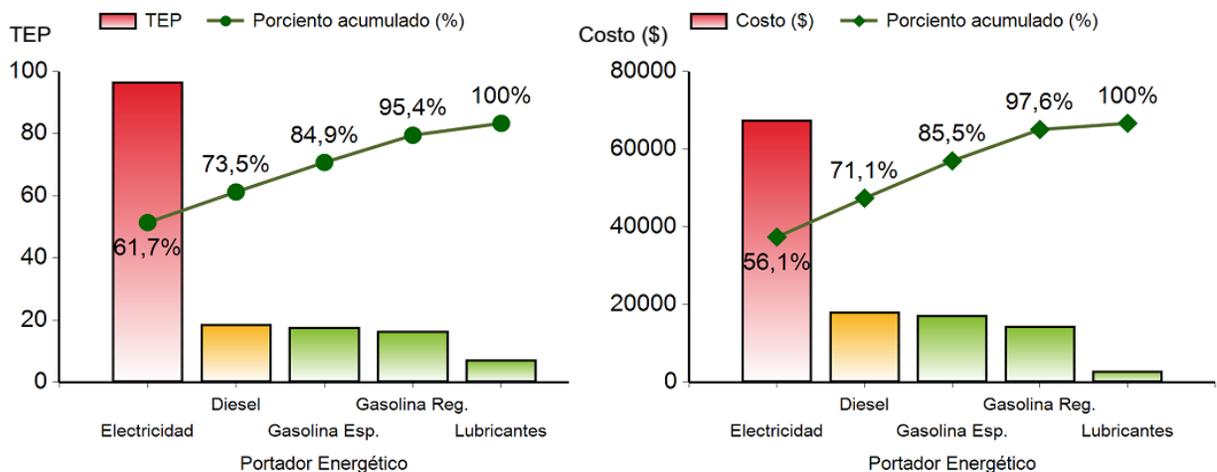


Figura 3 - 2. Diagrama de Pareto de los consumos y costos de los portadores energéticos

De los diagramas de Pareto anteriores es importante destacar que:

- Los portadores sobre los cuales se deben concentrar las acciones son la electricidad y el diésel.
- Estos portadores significan el 73,53% del consumo total de energía y el 71,14% de la estructura de gastos anuales.
- Teniendo en cuenta el consumo y los costos, el portador fundamental es la electricidad.
- La electricidad representa el 56,12% del total de gastos, con un consumo anual de 277 863 MWh. Esto equivale a 208,7 Tn/CO₂ vertidas a la atmósfera en ese período.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

Este reporte solo confirma lo que de manera empírica era conocido por los responsables de los portadores energéticos en la empresa, y es que la electricidad debe ser el centro de atención en relación con este tema. Es llamativo ver como el diésel se incluye entre portadores más importantes, si se tiene en cuenta que hay solo 5 vehículos que lo utilizan. Esto se debe al nivel de explotación que tienen estos equipos durante el año, la cual asciende a 155 818 km en total.

Herramientas para fijar los indicadores de desempeño energético:

Con estas herramientas se determinan los indicadores de consumo de portadores energéticos de la empresa los cuales no son fijos, por ello en cada revisión deben ser recalculados para conocer su estado.

Gráfico de consumo y producción en el tiempo

El parámetro productivo escogido son las “Horas Totales Trabajadas en el mes”, (HTT_{mes}). La tabla que contiene los valores de consumo y las HTT_{mes} en el tiempo puede verse en el Anexo 16. Con estos valores se obtuvo el gráfico de consumo vs producción (figura 3-3) y los datos mostrados a continuación.

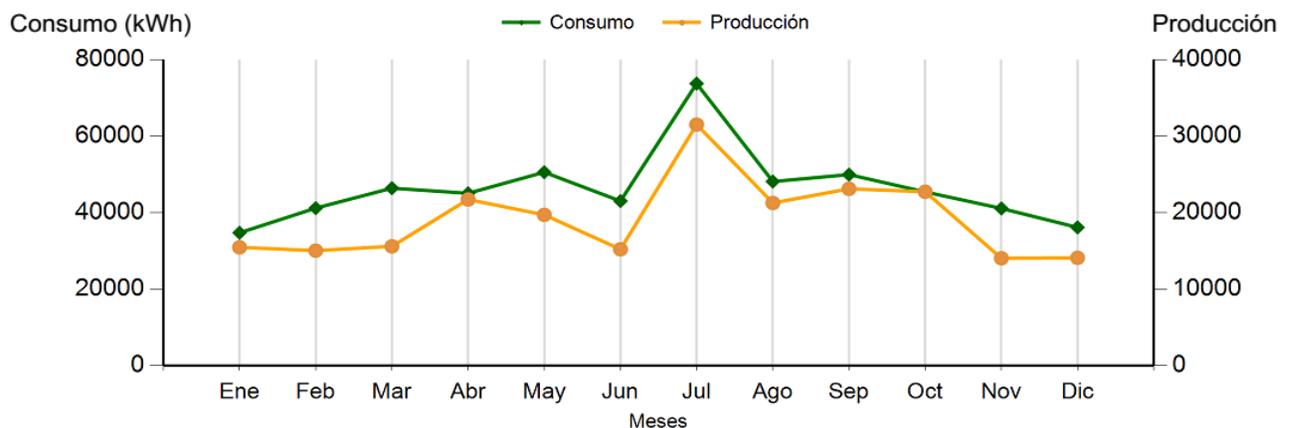


Figura 3 - 3. Gráfico de consumo vs producción para el año 2014

Consumo mínimo:	17379 kWh	Producción mínima:	28101
Mes consumo mínimo:	enero	Mes producción mínima:	noviembre
Consumo máximo:	36886 kWh	Producción máxima:	63053

Mes consumo máximo:	julio	Mes producción máxima:	julio
Consumo promedio:	23155,25 kWh	Producción promedio:	38269,08
Tendencia consumo:	Creciente	Tendencia producción:	Creciente

Una relación completa de los comportamientos anómalos detectados en esta muestra puede consultarse en el Anexo 17. Conociendo el número de meses que presentan eventos de este tipo se calcula el porcentaje de éstos sobre el total de la muestra:

Porcentaje de fiabilidad: 58,3 %

Validez de la muestra: Regular

La muestra es considerada como regular puesto que existe un número no despreciable de variaciones que pudieran provocar que los cálculos de los indicadores de eficiencia energética no sean representativos en su totalidad de la realidad del proceso. A pesar de ello, es posible continuar con los análisis teniendo en cuenta los efectos que pudieran introducir en los resultados los eventos detectados.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

El parámetro escogido como “Producción” debe reflejar con un alto grado de exactitud el comportamiento del consumo. Es posible apreciar claramente en el gráfico las anomalías detectadas. En abril no se realizaron actividades en el teatro de la edificación por lo que el consumo bajó un poco a pesar de que hubo más personal. Todo lo contrario ocurrió en julio, donde sesionó un curso de superación durante todo el mes por lo que la cantidad de personas en la instalación aumentó apreciablemente. En septiembre se tiene la llegada de los adiestrados, por lo que el personal aumenta, volviendo en octubre a las condiciones normales cuando los nuevos ingresos son desagregados en las distintas dependencias de la empresa. Excepto el caso del mes de julio la muestra seleccionada corresponde en buena medida con el funcionamiento de la instalación por lo que se considera que se debe tomar como válida.

Correlación consumo eléctrico contra producción

La figura 3-4 muestra el diagrama de dispersión que brinda la correlación existente entre el consumo de electricidad y el parámetro escogido. Además se exhiben algunos datos relacionados con él.

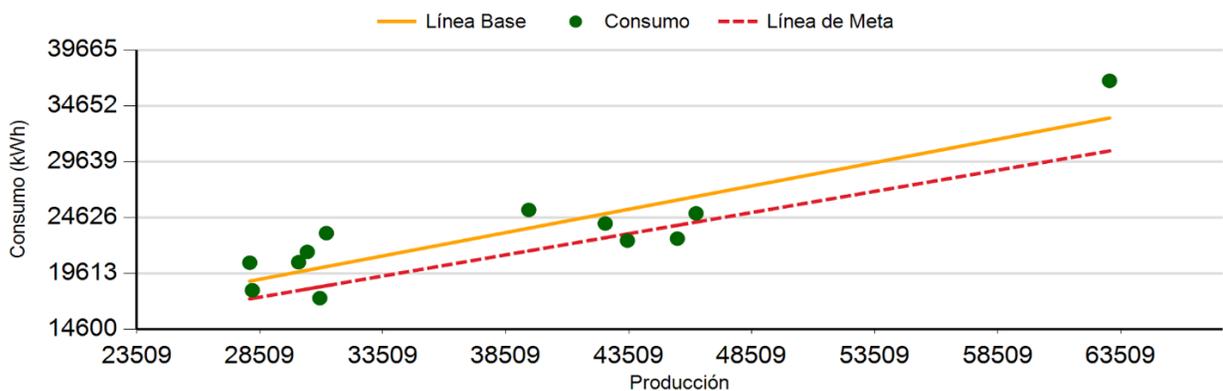


Figura 3 - 4. Diagrama de dispersión para el año 2014

Energía no asociada (Ena):	7124,50	Ecuación la línea base:	$y = 0,419x + 7124,5$
Energía no asociada anterior:	6881,90 kWh	Ecuación la línea meta:	$y = 0,38x + 6627,8$
Correlación:	77,98 %	Energía no asociada meta:	6627,80 kWh
Correlación período anterior:	75,11 %	Correlación meta:	88,8 %
Porcentaje que representa la Ena en relación a la media de consumo: 30,77 %			

Con estos datos se llegan a las siguientes conclusiones:

- Se tiene un potencial de mejora en la Ena de 496,7 kWh, lo que representa un 7% del consumo total.
- La correlación pasó de 75,11% en el período anterior a 77,98%, lo que evidencia que la correlación entre estas variables se ha hecho más acentuada. Este valor puede considerarse como aceptable.
- La energía no asociada pasó de 6881,9 kWh en el año 2013 a 7124,5 kWh. Esto no es un buen indicio pues sugiere que se está consumiendo más en procesos no asociados directamente a la producción.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

Los cálculos demuestran que la variable escogida (HTT_{mes}) es la fundamental para el control del consumo eléctrico en esta instalación. Es posible ver que las medidas que se tomaron en el año 2013 no fueron todo lo efectivas que se hubiera deseado, puesto que la energía no asociada al proceso aumento, aunque no de manera sustancial. Los días de fin de semana son los que tienen mayor potencial de mejora en este sentido. De las medidas presentadas, las que mayor incidencia pudieran tener en la edificación son las pérdidas eléctricas, el tiempo de trabajo perdido, los equipos encendidos sin ser utilizados y el uso de equipos con baja eficiencia en el caso de los climas.

Gráfico de control

La tabla que contiene la relación del consumo eléctrico y las HTT_{mes} puede verse en el Anexo 18. Estos datos se introdujeron al sistema dando como resultado el gráfico de control mostrado en la figura 3-5 y los datos incluidos a continuación de esta.

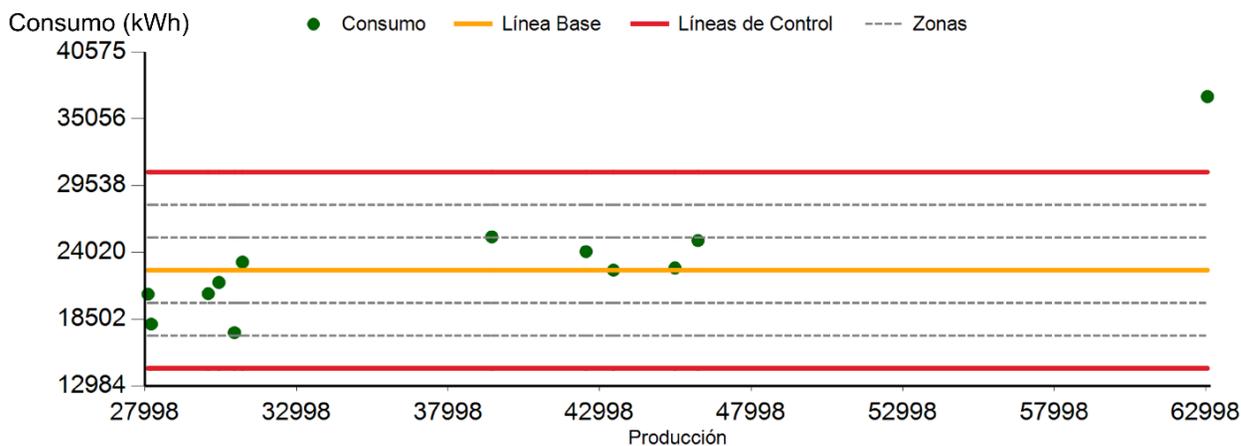


Figura 3 - 5. Gráfico de control para el año 2014

Valor base de consumo:	22538 kWh	Puntos en las zonas A:	0
Rango de control:	De 30649,49 a 14426,51	Puntos en las zonas B:	3
Desviación estándar:	2703,83	Puntos en las zonas C:	8
Anomalías detectadas:	0	Puntos fuera zona de control:	1
Consumo más probable:	23155,20	Estado del proceso:	Inestable

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

A pesar de los resultados de inestabilidad dados por el sistema, es posible comprobar que a excepción del mes de julio, en el resto de los 11 meses el comportamiento fue bueno. Si se tiene en cuenta que el consumo obtenido este mes es una conducta completamente irregular en el comportamiento normal de la entidad, es posible considerar a la muestra como controlada.

Diagrama de índice de consumo contra producción

La tabla que contiene la relación de los índices de consumo real y teórico y las HTT_{mes} aparece en el Anexo 19. Con ellos se confecciona el diagrama de índice de consumo mostrado en la figura 3-6.

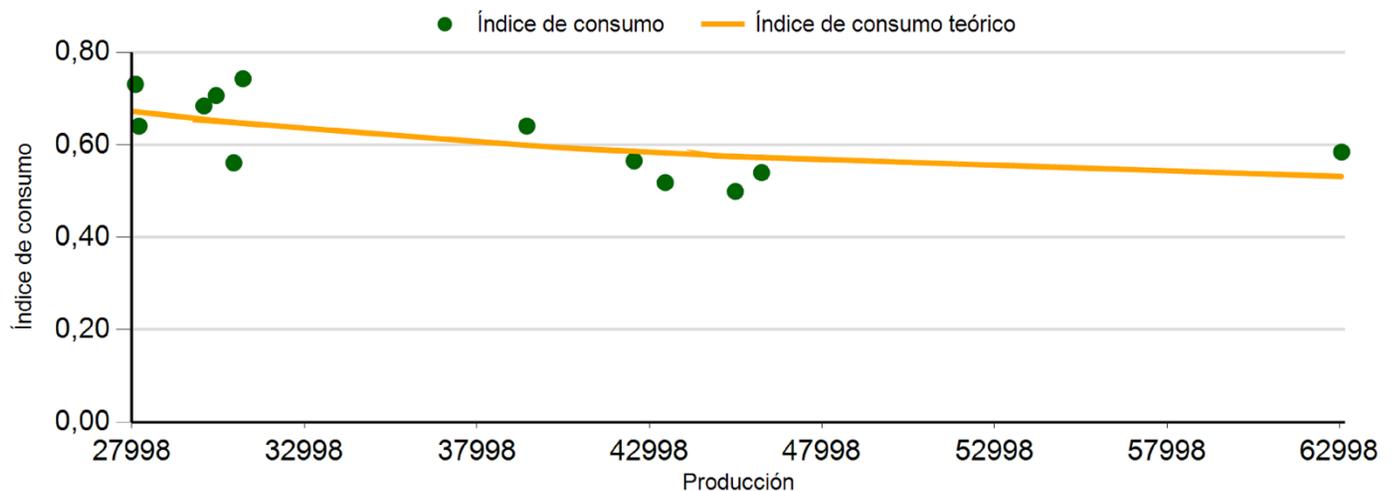


Figura 3 - 6. Diagrama de índice de consumo para el año 2014

Del diagrama presentado es posible obtener los siguientes datos y conclusiones:

Meses debajo la curva:	6	Meses sobre la curva:	6
Índice de consumo:	0,605 kWh/ HTT_{mes}	Valor crítico de producción:	23110

Con los resultados anteriores es posible afirmar que:

- Que existan valores por debajo de la curva evidencia que el sistema es capaz de comportarse más eficientemente. Es aconsejable analizar lo ocurrido en estos meses para instaurarlo como el comportamiento típico del proceso.
- El valor de producción crítico del sistema es 23110 con un índice de consumo asociado a esta de 0,7273. No es aconsejable la disminución de la producción por debajo de este valor.

- El índice de consumo del proceso completo es $0,605 \text{ kWh/HTT}_{\text{mes}}$. El indicador de consumo medio para los valores que se encuentran por encima de la línea es $0,6822 \text{ kWh/HTT}_{\text{mes}}$, mientras que para los puntos que se encuentran debajo de ella es $0,5545 \text{ kWh/HTT}_{\text{mes}}$.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

Los resultados ofrecidos en este reporte solo confirman lo que se ha venido viendo en este estudio y es que, a pesar de las medidas que se han tomado en la entidad, aún existe espacio para mejorar. Es interesante ver como existe un grupo de 6 meses que se agrupan en la parte alta de la curva, donde los indicadores cambian con una mayor diferencia bajo pequeñas variaciones de la producción. Esto no es bueno, por lo que se estudiará las medidas que se puedan tomar para evitar este tipo de comportamiento. En este caso el indicador energético sería expresado en $\text{kWh/HTT}_{\text{mes}}$.

Gráfico de tendencias o sumas acumulativas (CUSUM)

Para consultar la tabla que contiene la tendencia en cuanto a las variaciones de los consumos con respecto al período base, ver el Anexo 20. Con estos valores el sistema confecciona gráfico presentado en la figura 3-7.

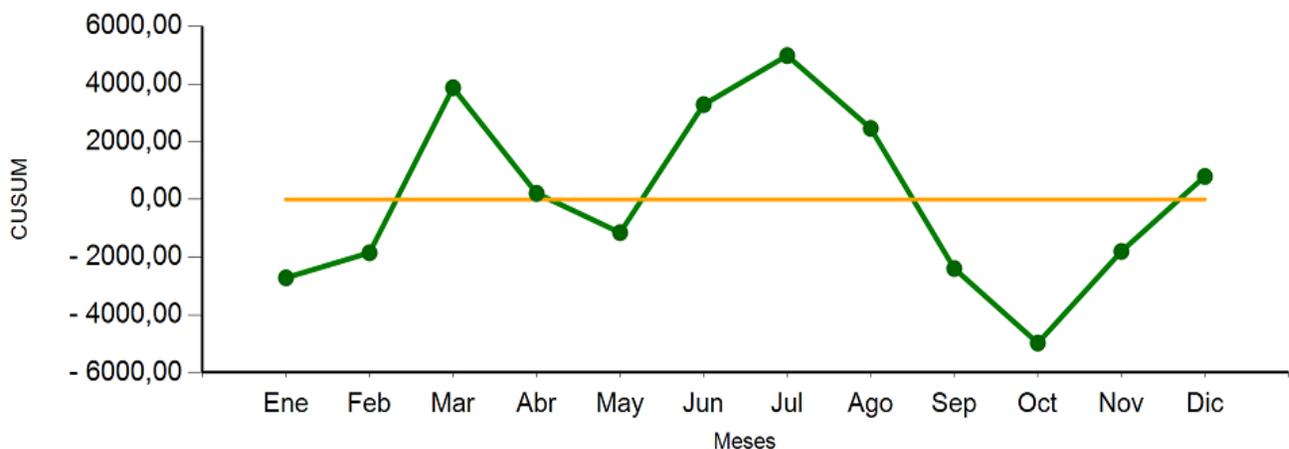


Figura 3 - 7. Gráfico de sumas acumulativas del consumo de electricidad por meses para el 2014

Del diagrama presentado en la siguiente figura sobresalen los siguientes datos y conclusiones:

Tendencia:	Creciente	Peor mes:	julio
Diferencia promedio:	2032,5 kWh	Mejor mes:	abril

- Existe una diferencia apreciable entre el consumo registrado y el teórico. Esto puede haber ocurrido por cambios en los parámetros del proceso o por ineficiencia en el consumo de energía. Los mejores meses en este sentido fueron abril y mayo.
- Existen 6 meses cuya suma acumulativa de consumo es inferior a la base establecida, lo que se traduce en disminución del consumo energético. Estos comportamientos deben generalizarse.
- Se consumió en este período 741,2 kWh de más, lo que evidencia carencias en la gestión energética.

Impacto ambiental de la empresa:

Una tabla que recoge las emisiones de los portadores energéticos utilizados en actividades que no incluye la transportación se presentan en la figura 3-8 (izquierda) mostrada a continuación. Ella también se incluye un diagrama de Pareto que refleja la relación entre ellos (derecha).

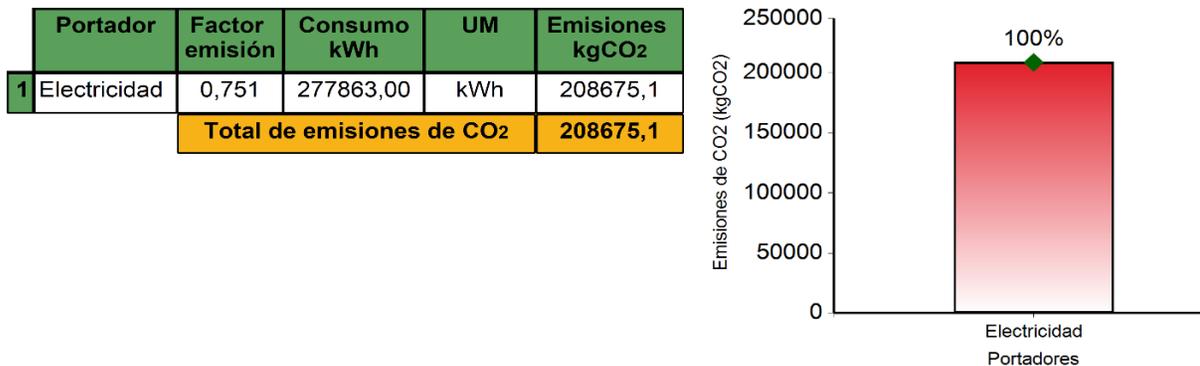


Figura 3 - 8. Portadores energéticos utilizados para actividades que no incluya transportación.

En relación a la utilización de energías renovables, se puede decir que no existe presencia de ellas en ninguna de las áreas que intervienen en el funcionamiento de la entidad. Esta información sirve como base para hacer una valoración de las emisiones que se están teniendo en actividades que se podrían solucionar utilizando fuentes de energía limpias.

Las emisiones de CO₂ asociadas a los medios de transporte utilizados se ofrecen en la tabla 3-2.

Tabla 3 - 2. Emisiones por transportación

Tipo de Vehículo	Velocidad media			Número de Vehículos	Fact. Em. kg CO ₂ e/km	km recorridos por año	Emisiones (kg CO ₂ e)	Porcentaje del total (%)
	Baja	Media	Alta					
Motocicleta 4t<250cc	X			26	0,08303	606528	50360	33
auto ligero gasolina		X		9	0,20324	202176	41090,3	27
Furgoneta (Diesel)		X		3	0,19448	97560	18973,5	12
Autobus(Diesel)		X		2	0,72112	58258	42011	28
Total de emisiones por traspportación							152434,8	

El impacto ambiental estimado que tienen los trabajadores para realizar las actividades productivas se incluye en la tabla 3-3 presentada a continuación.

Tabla 3 - 3. Emisiones por el uso del personal

Intensidad física del trabajo	Cantidad de personal	Horas de trabajo al año	Factor de emisión	Emisiones (kg CO ₂ e)
Baja	164	342154	0.0432	14781,1
Media	15	31282	0.0510	1595,4
Alta	12	24960	0.0680	1697,3
Total de emisiones de los trabajadores				18073,7

El desglose mensual de las emisiones por concepto de consumo electricidad se encuentra incluido en el Anexo 21. Con la totalidad de los datos presentados es posible ofrecer los siguientes resultados:

- Los niveles de utilización de fuentes renovables de energía pueden considerarse como inexistentes. Su incorporación a la matriz energética de la empresa redundaría en ahorros económicos importantes.
- Los meses con mayores niveles de emanación de CO₂ son julio y mayo. Estos meses deben ser estudiados para buscar soluciones que disminuyan progresivamente su impacto ambiental.
- El total de emisiones de la empresa es 379,18 Tn CO₂/año. De lo cual la electricidad es el 73,3 %.
- De los aspectos vistos en este análisis, el elemento que más emisiones de CO₂ produce es el uso de portadores energéticos sin incluir transportación.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

En la empresa se han comenzado a dar pasos para la incorporación de energías renovables a su matriz energética. Ejemplo de ello es el estudio que se realizó para comprobar la factibilidad de implantar paneles solares móviles vs fijos. En este sentido, se tiene planeado a partir de junio comenzar un estudio de factibilidad técnico-económica para instalar paneles solares fijos que deberán comenzar a funcionar a partir de enero de 2016. Además en septiembre se tiene planificada la instalación de calentadores solares que serán utilizados para abastecer de agua caliente a la cocina, para el fregado y las mesas calientes, y a los servicios sanitarios.

3.3 Resultados del Bloque de análisis de los datos de la UNE

Análisis del consumo mensual:

La tabla que contiene los datos de la relación entre el consumo eléctrico y sus costos en la instalación se puede consultar en el Anexo 22. En la figura 3-9 se muestra el gráfico correspondiente a dichos valores.

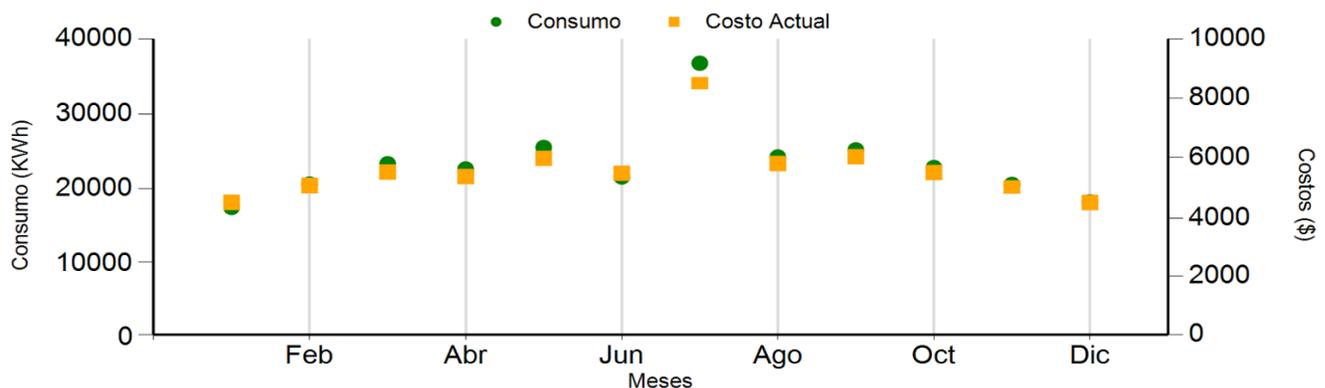


Figura 3 - 9. Relación entre el consumo eléctrico y sus costos para el año 2014

Del gráfico anterior es posible sacar los siguientes datos y brindar las siguientes conclusiones:

Mes mayor consumo:	julio	Mes mayor costo:	julio
Mes menor consumo:	enero	Mes menor costo:	diciembre
Trimestre de mayor consumo:	jul, ago, sep	Trimestre de mayor costo:	jul, ago, sep
Trimestre de menor consumo:	ene, feb, mar	Trimestre de menor costo:	oct, nov, dic
Tendencia consumo:	Creciente	Tendencia costo:	Creciente

Consumo promedio: 23155,25 kWh Costo promedio: \$5620,57

- La relación costo/consumo en el período analizado es de 0,244 \$/kWh mientras que en el período base es de 0,246 \$/kWh. Este es un buen comportamiento por lo que debería hacerse un estudio de los factores que han propiciado esta tendencia de manera de mantenerla.
- El por ciento del total de meses que representan aquellos con comportamientos anómalos es 0%, lo que puede considerarse como bueno. Esto evidencia que los costos por penalizaciones se han comportado de manera estable, lo que no quiere decir que los valores de los factores que hacen que aumente la factura no sean altos, solo que se han mantenido relativamente constantes.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

La gráfica del consumo de la empresa muestra que este parámetro se mantuvo relativamente estable durante todo el año, a excepción del mes de julio, donde se experimentó un incremento apreciable. Esto estuvo relacionado con actividades desarrolladas en el teatro de la entidad durante todo el mes que no estaban recogidas en el plan.

Análisis del consumo mensual por tarifa:

La tabla que contiene los datos de la relación entre el consumo eléctrico y sus costos en cada horario es posible verla en el Anexo 23; los gráficos correspondientes a dichos valores se ven en la figura 3-10.

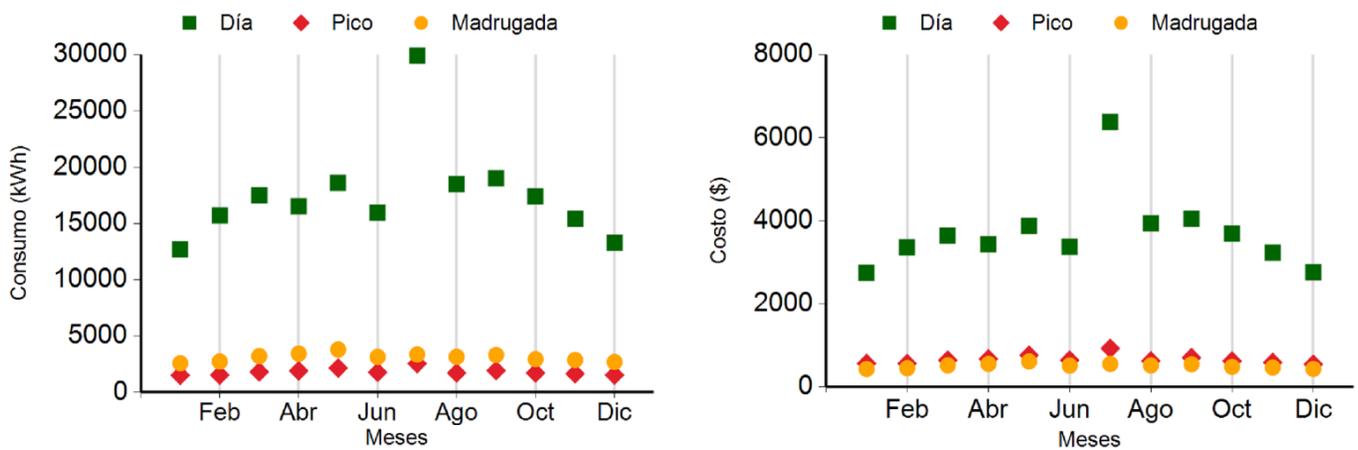


Figura 3 - 10. Relación entre el consumo eléctrico y sus costos por horarios para año 2014

Con estos datos el sistema construye la tabla 3-4 además de dar las siguientes conclusiones:

- El porcentaje que representa el consumo en el horario pico es bueno.
- El mayor consumo se concentra en el horario "Día", coincidiendo en su mayor parte con el horario laboral.
- Deben tomarse medidas en busca de minimizar el consumo fuera del horario laboral que en este caso representa el 21,95% del consumo total.

Pérdidas de hierro totales:	0,523kW	Pérdidas de cobre nominales totales:	1,6kW
Eficiencia máxima ($\eta_{\text{máx.}}$):	98,53 %	Carga para que la eficiencia sea máxima ($K_{\eta_{\text{máx.}}}$):	0,57
Potencia para $K_{\eta_{\text{máx.}}}$:	69,82 kW	Pérdidas cuando la eficiencia es máxima:	1,05 kW

Según el especialista, el estado de car de la instalación se comporta como se ve en la tabla 3-5:

Tabla 3 - 5. Comportamiento del transformador en un día típico

Carga	Horas Diarias	Potencia (kW)	Eficiencia	Perdidas (kW)	Consumo por perdidas (kWh)
0,09	6	11,02	95,36	0,54	3,24
0,122	2	14,94	96,47	0,55	1,10
0,735	4	90,04	98,48	1,39	5,56
0,571	2	69,95	98,53	1,04	2,08
0,653	3	79,99	98,52	1,21	3,63
0,098	7	12,00	95,71	0,54	3,78

Incorporando las cargas al diagrama de eficiencia del transformador se construye la gráfica 3-11:

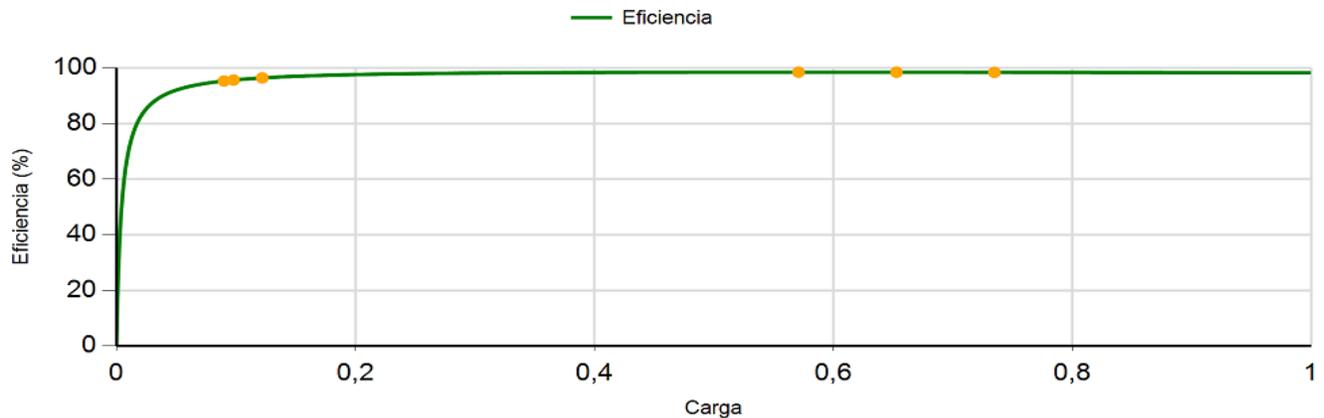


Figura 3 - 11. Gráfico de la eficiencia del transformador

De los resultados obtenidos es importante destacar que:

- Teniendo en cuenta el perfil de carga de la instalación, la demanda máxima contratada así como el factor de potencia, es posible concluir que el banco de transformadores está correctamente utilizado.
- Las pérdidas calculadas y facturadas no coinciden. Este es un elemento al cual debe prestársele atención y determinar la razón de las divergencias.
- La eficiencia media del transformador durante el horario laboral está sobre el 98%. Los niveles de eficiencia registrados durante todo el día no bajan del 95%. Lo que se considera muy bueno.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

Teniendo en cuenta los datos suministrados por el software es posible concluir que el banco de transformadores utilizado es el adecuado para esta edificación. La diferencia entre las pérdidas calculadas y facturadas es un tema que deberá quedar resuelto luego que se concrete la reunión con los especialistas de la UNE. A pesar de ello, las afectaciones por esta diferencia no son muy grandes.

Demanda máxima contratada:

Para analizar la Demanda Máxima Contratada en la entidad se confecciona la tabla que se presenta en el Anexo 26 junto con los gráficos de demanda y costos en el tiempo ofrecidos en la figura 3-12.

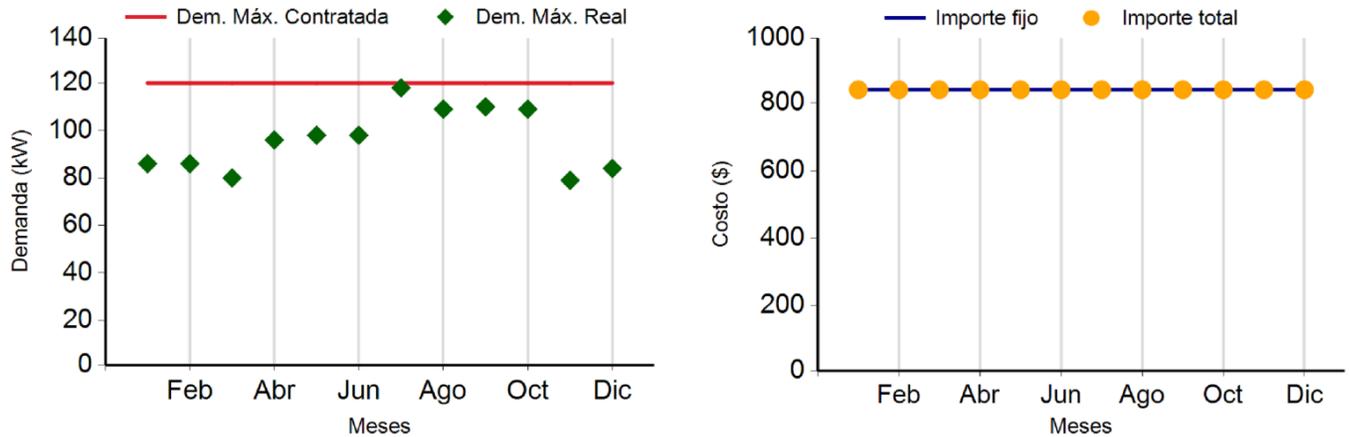


Figura 3 - 12. Demanda máxima por meses y los costos asociados para el año 2014

De estos gráficos se obtienen los siguientes parámetros:

Cantidad de incumplimientos: 0

Demanda máxima promedio: 96,08 kW

Desviación media entre la Demanda Máxima Contratada y la real: 23,91 kW

Existe potencial de mejora en esta variable, lo cual se evidencia en la tabla presentada en el Anexo 27, que ofrece una estimación de la demanda que debería contratarse, dando los siguientes resultados:

Consumo en horas de actividad (CHA) promedio:	18216,92 kWh
Consumo en horas sin actividad (CHSA) promedio:	4938,33 kWh
Porcentaje promedio que representa el CHSA del consumo total:	21,68 %
Demanda máxima estimada promedio:	103,5 kW
Demanda máxima estimada a contratar:	105 kW
Ahorros estimados:	714,00\$

Con los datos anteriores es posible llegar a las siguientes conclusiones:

- La demanda máxima real está por debajo de la contratada en 286 kW. Esto representa pagos adicionales por un monto de \$2002 pesos por este concepto.
- La desviación media entre los valores de la demanda máxima real y el valor contratado es de 23,91kW. Con el valor sugerido de demanda a contratar este parámetro pasaría a 8,92 kW.
- El porcentaje que representa la diferencia de la demanda máxima estimada sobre la contratada actualmente es 12,5%, lo cual es inferior al 20%. Por tal motivo se deja a consideración del especialista en gestión energética concluir si es necesario o no recontractar la demanda máxima.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

Las estimaciones realizadas por el sistema demuestran que es posible mejorar las condiciones de la demanda contratada y con ello experimentar ahorros económicos. Es posible apreciar claramente que de abril a octubre se registran los niveles más altos de demanda por el uso más intensivo de los equipos de clima. Por lo cual en estos meses se deben extremar las medidas para evitar estos picos.

Medidas para reducir la demanda y el consumo de energía:

Entre los equipos que es posible encontrar en esta edificación están: computadoras, servidores, equipos de clima (Split), bomba de agua, neveras o refrigeradores y luminarias. Con esta información se conformó un listado de oportunidades de mejora que existen en la entidad y que su solución reduciría el consumo y/o los niveles de la demanda. Estas medidas se presentan en la tabla 3-6.

Tabla 3 - 6. Listado de medidas para disminuir el consumo y la demanda máxima

	Situación detectada	Propuesta de solución
1	Se detectaron equipos de clima conectados en horarios no establecidos.	Los equipos de aire acondicionado no deben funcionar en horarios no establecidos, según en las indicaciones del Ministro estos equipos solo deben ser utilizados en horario laboral.
2	Existen equipos de clima con falta de mantenimiento.	Es importante crear un plan de mantenimiento para todos los equipos de climatización, el cual debe ser, por lo menos, una vez a al mes. Equipos funcionando en mal estado o con los filtros sucios hace que baje considerablemente su eficiencia.
3	Existen locales que poseen los niveles de frío de los aires acondicionado en los mínimos permitido. Incumpliendo las indicaciones del MININT que refieren que los equipos de climatización deben ser programados a 25 grados Celsius.	Este es un elemento que influye directamente en tiempo de trabajo de los compresores. Es importante programar los sistemas de clima a una temperatura de confort adecuada que permita que el equipo descansa, lo que disminuye su consumo.
4	Los equipos de clima utilizados poseen baja eficiencia energética.	Hacer un estudio para la sustitución de estos equipos por otros de mayor eficiencia. De no ser posible sustituirlos todos, debe tenerse en cuenta este elemento para ante la necesidad de recambio instalar equipos más eficientes y de esa manera ir cambiándolos de manera paulatina.
5	No existe un adecuado aislamiento de la embolvente térmica.	Crear barreras que eviten que los rayos solares incidan directamente sobre los locales climatizados, especialmente sobre ventanas acristaladas o zonas de metal. Esto hace que disminuya el intercambio térmico.
6	No existe un control adecuado de la temperatura en los locales de servidores.	Instalar un sistema para el monitoreo de la temperatura del local que permita tener encendido solamente los Split que sean necesario. Esto disminuye el consumo y aumenta la vida útil de los equipos.
7	La bomba de agua es encendida en cualquier horario.	Ajustar el encendido la bomba de agua a horarios donde la factura es más favorable hace que, a la vez que se ahorra dinero por penalizaciones por demanda máxima, ayuda a eliminar picos de consumo. Otra solución pudiera ser la instalación de una mayor capacidad de almacenamiento para evitar el bombeo varias veces al día.
8	Los circuitos que componen la red se encuentran desbalanceados.	No balancear adecuadamente los circuitos de alimentación puede provocar calentamientos en alguno de ellos lo que trae un aumento en las pérdidas. Este es un aspecto muy importante a tener en cuenta.
9	Las neveras y refrigeradores se abren constantemente durante el día.	La apertura de las neveras y refrigeradores provoca que el aire frío contenido se escape, lo que hace que el equipo comienza a funcionar. Evite aperturas sucesivas de estos equipos. Si en su instalación se utiliza para enfriar agua valore la posibilidad de instalar bebederos que para esta función son mucho más eficientes.

10	No se ha alcanzado la desagregación del consumo por áreas, sistemas y equipos mayores consumidores.	Conocer los equipos y procesos más consumidores permite tomar medidas para mantener los consumos asociados a estos en los niveles más bajos posibles. Además esta información es vital para realizar un acomodo de las cargas hacia horarios más favorables.
11	No se logra la participación y apoyo de todo el personal en el ahorro de energética.	Es importante crear conciencia en todos los trabajadores y visitantes en la instalación para que se tomen medidas enfocadas al ahorro de energía. Sin este elemento cualquier medida que se tome no tendrá todo el efecto deseado.
12	Existen locales con colores oscuros en las paredes.	Pintar las paredes con colores claros permite aprovechar mejor la luz natural o artificial. Los colores oscuros hacen que se necesiten mayor número de luminaria para lograr los niveles de luminancia necesarios.
13	La iluminación en los pasillos y zonas comunes permanece encendida aún y cuando no es necesaria.	Este es un problema muy común en las instalaciones de mediano y gran tamaño. La mejor manera de garantizar el uso adecuado de estos sistemas de iluminación es con la instalación de sensores de iluminación y presencia.
14	La iluminación existente en la entidad no es la más adecuada o eficiente.	Los sistemas de iluminación son uno de los de mayor impacto en las instalaciones públicas. Usar la iluminación más adecuada puede ahorrar hasta un 20% de la factura, para ello puede apoyarse en el apartado dedicado al estudio de este sistema con que cuenta este software.
15	No existe un aprovechamiento adecuado de la iluminación natural.	Crear las condiciones para un mayor aprovechamiento de la luz natural evitando el uso de cortinas oscuras o plásticas y colocando los puestos de trabajo cerca de las ventanas.
16	Existen locales en los que las computadoras permanecen encendidas durante largos períodos de tiempo sin ser utilizadas.	Apagar los ordenadores cuando no se estén utilizando. También se puede utilizar el sistema inactivo o modo de hibernación.
17	Existen equipos de impresión que permanecen encendidos aún y cuando no están siendo usados.	Encender las impresoras solamente cuando se vayan a utilizar. De lo contrario suelen estar inactivas el 80% del tiempo que está encendida y además de un consumo innecesario reduce su vida útil.
18	No se tiene establecido el parámetro de apagado de los monitores a 5 minutos.	Establecer el parámetro de apagado de monitores a 5 minutos en todas las computadoras existentes en la instalación evita que estos estén encendidos innecesariamente. Este es un elemento que edificaciones que cuentan con un alto número de estos equipos puede constituir una importante medida de ahorro.
19	No existe utilización de ningún tipo de energía renovable.	Realizar un estudio de factibilidad para incorporar a la matriz energética de la instalación las energías renovables. Con ello, además de obtenerse ahorros directos, se disminuye el impacto ambiental de la empresa.

Factor de potencia:

El estudio del factor de potencia en cada uno de los meses da como resultado la tabla que se incluye en el Anexo 28. Del análisis de esta tabla es posible presentar los siguientes datos y valoraciones:

Peor mes:	julio	Mejor mes:	febrero
FP en el período:	0,99	Estado de la entidad:	Bonificada
Meses bonificados:	11	Meses penalizados:	0
Necesidad de compensación:	No	Meses no penalizados:	1

- El Factor de potencia se ha comportado de manera estable alrededor del valor 0,99.
- Se detectó que en el mes de junio, a pesar de que el factor de potencia registrado fue 0,99 no se incluyeron bonificaciones. Debido a ello se pagó en exceso \$ 229,17 pesos.
- El factor de potencia registrado en el mes de julio fue bajo en relación con la media de instalación. A pesar de que ello no se dejó de estar en bonificación. Sería conveniente estudiar lo ocurrido ese mes para evitar que pueda salirse de este rango.

- La empresa está siendo bonificada por presentar valores de factor de potencia superiores a 0,92. Es por ello que no se considera necesario compensar la energía reactiva consumida.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

El factor de potencia en la entidad se comporta favorablemente sin necesidad de compensación con banco de capacitores. Con ello la entidad ha registrado bonificaciones en el período analizado ascendentes a \$ -2709,59 pesos. Se tendrá un encuentro con los especialistas de la UNE para analizar lo sucedido con las bonificaciones del mes de junio.

3.4 Resultados del Bloque de análisis de los datos del EM133

El día escogido como base para todos los estudios es el 10 / 11 / 2014.

Potencias activa y reactiva:

El comportamiento de las potencias activa y reactiva totales durante el día seleccionado se muestra en la figura 3-13. Los gráficos correspondientes a las potencias registradas en cada una de las fases es posible consultarlos en el Anexo 29.

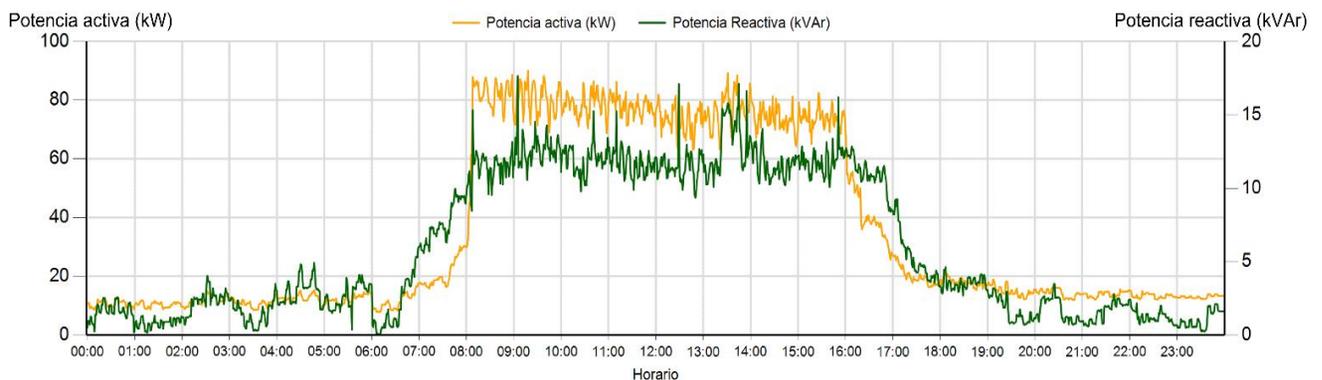


Figura 3 - 13. Gráfico de potencia activa total y reactiva total

Del gráfico anterior y de los presentados en el Anexo es posible obtener los siguientes resultados:

Potencia reactiva total máxima:	17,64 kVAr	Potencia activa total máxima:	90 kW
Horario de la máxima potencia activa total:	06:10	Horario de la máxima potencia reactiva total:	09:18
Potencia activa máxima fase 1:	29,4 kW	Potencia reactiva máxima fase 1:	5,76 kVAr
Potencia activa máxima fase 2:	39 kW	Potencia reactiva máxima fase 2:	7,14 kVAr
Potencia activa máxima fase 3:	26,46 kW	Potencia reactiva máxima fase 3:	15,48 kVAr
Horario de la máxima potencia activa fase 1:	09:25	Horario de la máxima potencia reactiva fase 1:	13:34
Horario de la máxima potencia activa fase 2:	12:29	Horario de la máxima potencia reactiva fase 2:	12:42
Horario de la máxima potencia activa fase 3:	09:18	Horario de la máxima potencia reactiva fase 3:	12:29

Analizando los resultados y los gráficos de potencia es posible destacar los siguientes elementos:

- El rango de tiempo donde se registraron mayores niveles de potencia es desde las 08:00 a las 16:00.

- De 6:00 a 8:00 la fase 3 registra niveles de energía reactiva en franco incremento, elemento este que no se registra en igual magnitud en la energía activa. Esto puede ocurrir por la conexión de equipos con una componente reactiva superior como pueden ser neveras, motores o luminarias.
- De las 8:00 a las 16:00 la fase 2 registra niveles promedios de potencia activa superiores a las otras 2. Esto pudiera estar provocado por una presencia más elevada de cargas monofásicas a esta fase. Este comportamiento pudiera provocar un desbalance en las corrientes.
- Fuera del horario laboral ambas potencias se comportaron de manera estable. No se detectaron niveles de potencia fuera de lo esperado teniendo como media 13,44 kW y 2,86 kVAr.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

En el gráfico de las potencias totales se ve claramente que alrededor de las 6:00 de la mañana comienza a funcionar en la entidad los servicios de limpieza. Es por ello que se comienzan a encender sobre todo las neveras del comedor y el alumbrado general. Luego de la llegada del resto del personal a la edificación estas cargas pasan a ser menos predominantes y se ve un incremento de los niveles de potencia activa por la incorporación de cargas como las computadoras o los climas.

Demanda:

El perfil de la demanda real registrado en el día seleccionado se muestra a continuación en la figura 3-14.

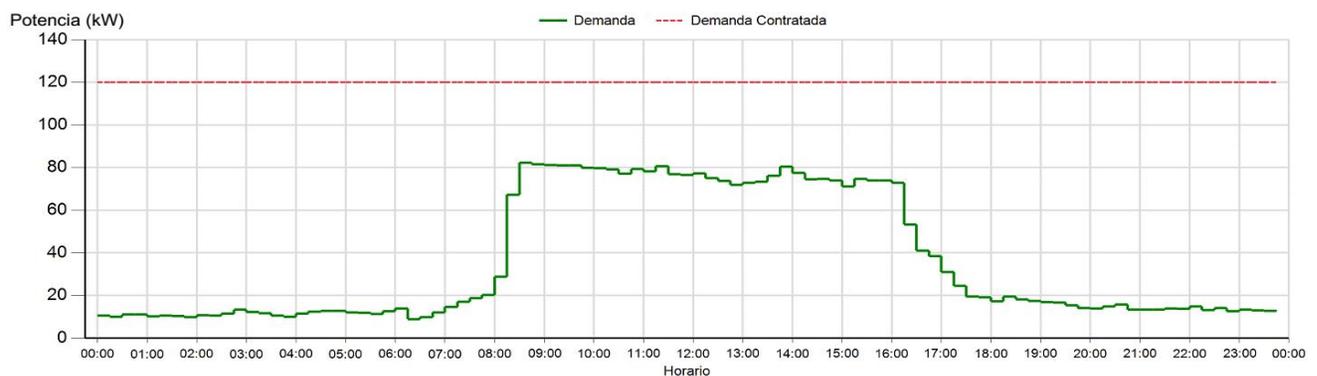


Figura 3 - 14. Gráfico de demanda

De la información que brinda el gráfico anterior es posible obtener los siguientes datos y conclusiones:

Densidad de carga:	0,246 kW/m ²	Horario demanda máxima diaria:	08:30
Factor de demanda:	0,266	Intervalo de mayor demanda:	8:15 a 16:15
Demanda máxima diaria:	82,22 kW	Factor de carga:	0,436
Energía consumida:	861,12 kWh	Demanda promedio:	35,88 kW

- De las 08:15 a las 09:00 se registran los mayores niveles de demanda durante el día. Esto puede estar dado por el encendido o uso simultáneo de un número alto de equipos. Es conveniente evitar este tipo de comportamiento haciendo un corrimiento en su uso o una utilización más racional de los mismos.
- Conociendo que el área total de la instalación es 1258,6 m² y la capacidad instalada es 309,5 kW, se obtiene que la densidad de carga es de 245,9 W/ m².

- El factor de carga existente en la instalación es de 0,436.
- Existe un amplio margen de mejora entre los niveles de demanda registrados y la demanda máxima contratada. Lo cual confirma los análisis realizados anteriormente.
- Debería estudiarse la posibilidad de realizar un reacomodo de cargas. Con ello se lograría un ahorro por recontractar de demanda máxima a un valor menor.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

La demanda presenta un comportamiento estable durante el día. Sin embargo es, de las variables que han sido analizadas hasta el momento, una de las que posee mayor rango de mejora. Por ello se debe hacer una recontractación de manera urgente. El intervalo de mayor demanda coincide con el encendido de los aires acondicionados. A pesar de que la diferencia no es muy grande, se tomarán en cuenta las recomendaciones hechas para escalonar más este proceso.

Factor de potencia:

En la figura 3-15 aparece el gráfico correspondiente al factor de potencia total durante el día escogido, para consultar representaciones similares para cada una de las fases ver el Anexo 30.



Figura 3 - 15. Gráfico de factor de potencia total

Del gráfico es posible obtener los siguientes resultados y conclusiones:

Factor de potencia total mínimo: 0,92 Factor de potencia total máximo: 1,00
 Horario del factor de potencia total mínimo: 07:18 Horario del factor de potencia total máximo: 06:06

- La media del factor de potencia total en el transcurso del día fue 0,98. Este valor es posible considerarlo como bueno pues está por encima del valor mínimo de bonificación.
- De las 06:43 a las 08:04 se registraron los niveles más bajos de factor de potencia total. En ese intervalo no se bajó del nivel de penalización pero si del nivel de bonificación.
- De las 06:02 a las 08:01 se registraron los niveles más bajos de factor de potencia en la fase 3, llegándose a registrar valores de 0,77. Este comportamiento se vio reflejado en el factor de potencia total aunque no coinciden exactamente en el mismo rango de tiempo.
- Los equipos conectados a la fase 3 tienen una componente de energía reactiva predominantemente inductiva por lo cual se registran niveles bajos de factor de potencia. Este comportamiento no se refleja en las fases 1 y 2.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

Los fenómenos detectados en la fase 3 se deben fundamentalmente a cargas donde predomina la reactancia inductiva como se ha dicho en análisis anteriores. A pesar de ello, esta variable se comporta muy bien en general durante todo el día. Ejemplo de ello es que en los 12 meses del año la entidad ha sido bonificada sin necesidad de compensación.

Frecuencia:

De las mediciones realizadas en cada minuto del día seleccionado se obtienen los gráficos de frecuencia (figura 3-16) y Variaciones Sostenida de Frecuencia (figura 3-17) vs tiempo presentados seguidamente.



Figura 3 - 16. Gráfico de frecuencia vs tiempo

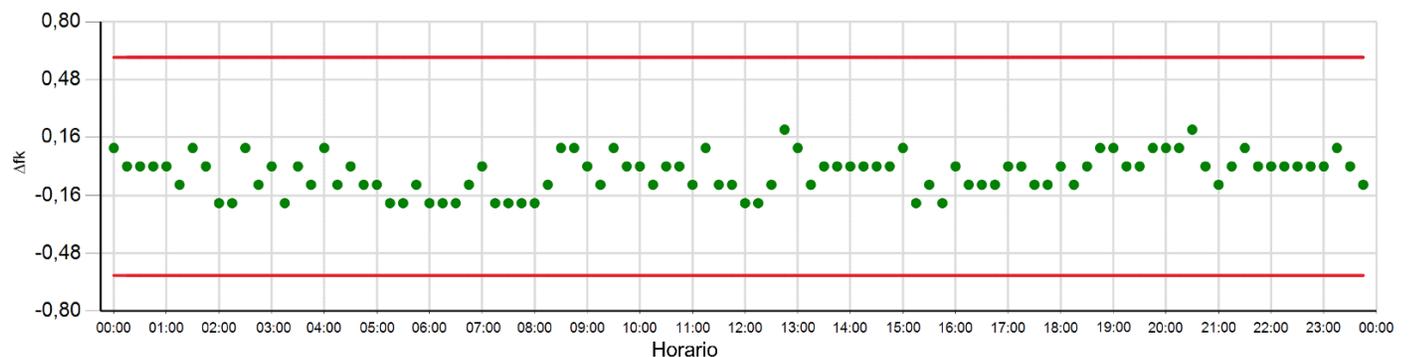


Figura 3 - 17. Gráfico de densidad de las Variaciones Sostenida de Frecuencia (Δf_k)

Del comportamiento de estas variables es posible obtener los siguientes resultados y consideraciones:

Frecuencia máxima:	60,23 Hz	Frecuencia promedio:	59,98 Hz
Frecuencia mínima:	59,72 Hz	Mediciones fuera de los límites:	0
Variación sostenida de frecuencia media:	-0,04	Porcentaje que representa las Δf_k fuera de rango:	0%
Cantidad de Δf_k fuera de rango	0	Porcentaje que representa las Δf_k en el rango $\pm 0,1$:	36%

- La frecuencia se mantuvo durante todo el día dentro de los niveles límites establecidos sin registrarse lecturas fuera de este rango.
- Todas las Variaciones Sostenidas de Frecuencia medidas en los distintos intervalos están dentro del rango de tolerancias, por lo que se puede decir que este parámetro está correcto.
- Es posible afirmar que los niveles de frecuencia en la instalación tienen muy buena calidad.

Consumo energía activa y reactiva:

En la figura 3-18 se aprecia el perfil del consumo de energía activa en el día típico elegido.

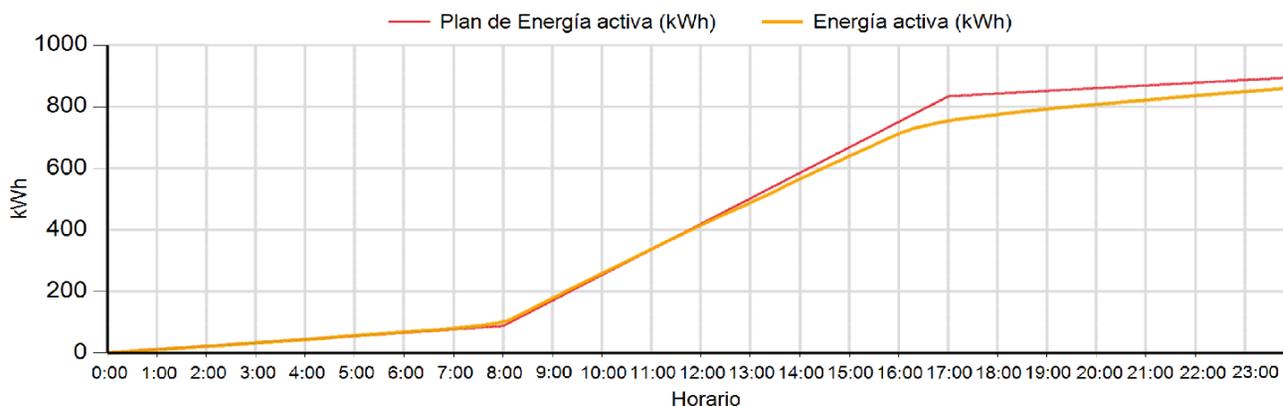


Figura 3 - 18. Gráfico de consumo diario de energía activa y reactiva

Recordando que el horario laboral es de 8:00-17:00 se puede llegar a los siguientes datos y conclusiones:

Consumo total de Ea:	861 kWh	Consumo de Ea (horario laboral):	653 kWh
Consumo total de Er:	145 kVArh	Horario mayor consumo Ea:	07:56-16:13
Consumo Ea (fuera horario laboral):	208 kWh	Horario mayor de consumo Er:	07:09-16:38

- El porcentaje que representa el consumo en las horas no laborables con relación a las laborables es 31,85%. Este valor es considerado como regular, por lo que se debería analizar las potencialidades existentes para disminuirlo.
- El horario donde se registra el mayor consumo de energía activa comienza junto con el horario laboral y termina aproximadamente una hora antes del mismo. En este período se aumenta a razón de 82,87 kWh por hora.
- El horario de mayor consumo de energía reactiva comienza aproximadamente una hora antes del horario laboral y termina junto con él. En este período se aumenta a razón de 6,04 kVAh por hora.

Para conocer el comportamiento del consumo de energía activa en el mes de noviembre del año 2014 se obtuvo el gráfico diferenciando los días laborables y no laborables. Este es presentado en la figura 3-19.

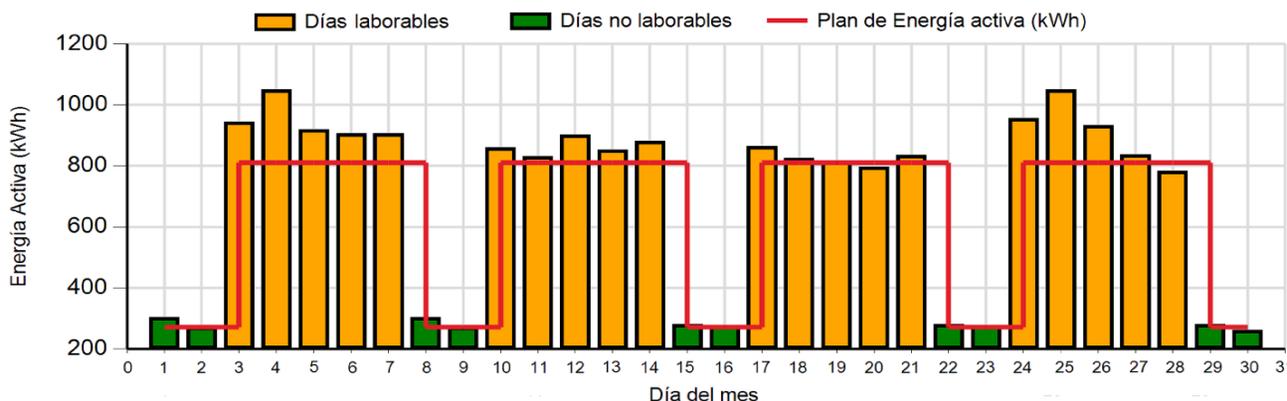


Figura 3 - 19. Gráfico de consumo mensual de energía activa y reactiva

Analizando los gráficos citados es posible obtener los siguientes datos y valoraciones:

Mayor consumo de Ea:	1051 kWh	Días que incumplen el plan (lab/no lab):	18 / 9
Día de mayor consumo de Ea:	4	Plan de consumo de Ea (lab/no lab):	810 / 271 kWh
Mayor consumo de Er:	26 kVArh	Consumo promedio Ea días laborables:	888 kWh
Día de mayor consumo de Er:	26	Consumo promedio Ea días no laborables:	281 kWh
Consumo total de Ea:	20560 kWh	Consumo promedio Er días laborables:	134 kVArh
Consumo total de Er:	2930 kVArh	Consumo promedio Er días no laborables:	26 kVArh
Porcentaje que representa el consumo en los días no laborables con relación a los laborables: 8,59%			

Finalmente se construye un gráfico que muestra el consumo de energía activa por meses junto con el plan establecido en cada caso para el año 2014. Este es presentado en la figura 3-20.

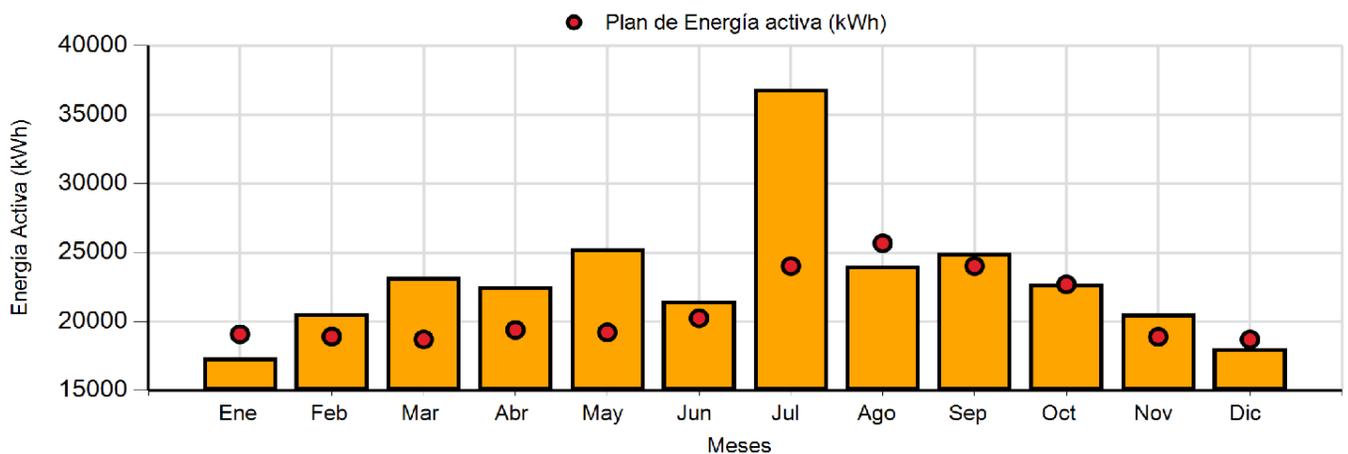


Figura 3 - 20. Gráfico de consumo anual de energía activa para el año 2014

Del gráfico es posible obtener los siguientes datos y valoraciones:

Consumo promedio mensual Ea:	23 155 kWh	Consumo total Er:	47243,54 kVArh
Consumo promedio mensual Er:	3937 kVArh	Menor consumo de Ea:	17 379 kWh
Mayor consumo de Ea:	36 886 kWh	Mes de menor consumo de Ea:	enero
Mes de mayor consumo Ea:	julio	Menor consumo de Er:	2929,64 kVArh
Mayor consumo Er:	10758,42 kVArh	Mes de menor consumo de Er:	noviembre
Mes de mayor consumo Er:	noviembre	Consumo Ea con frío (ene-feb):	37 979 kWh
Consumo total Ea:	27 7863 kWh	Consumo Ea con calor (jul-ago):	60 963 kWh

- La tendencia del consumo de energía activa en este período es a crecer, lo que no es bueno para la instalación. Debe comprobarse que este aumento esté ligado a un incremento productivo.
- Los meses que sobrepasaron la variación media estimada para el período son, jul, ago.
- Los meses que incumplieron el plan mensual son feb, mar, abr, may, jun, jul, sep, oct, nov. Ello provocó que se incumpliera el plan anual de consumo de 249 708 kWh en 28 154 kWh.
- La diferencia entre los meses calurosos (jun, jul, ago) y los fríos (ene, feb, dic) es de 26 427 kWh.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

En el caso específico de este edificio, este parámetro es monitoreado constantemente por el administrador gracias a la aplicación móvil que le permite ver en tiempo real cómo se va comportando esta variable en relación con el plan establecido. El consumo fuera del horario laboral y en los días no laborables es algo alta. Este constituye el mayor potencial de ahorro y hacia el cual estarán dirigidas las mayores medidas puesto que en estos horarios y días no se conciben estos niveles de consumo.

Tensiones:

El comportamiento de los niveles de tensión en cada una de las fases (figura 3-21) y el desbalance entre ellos (figura 3-22) se muestran a continuación. La tensión nominal del sistema es 120 V.

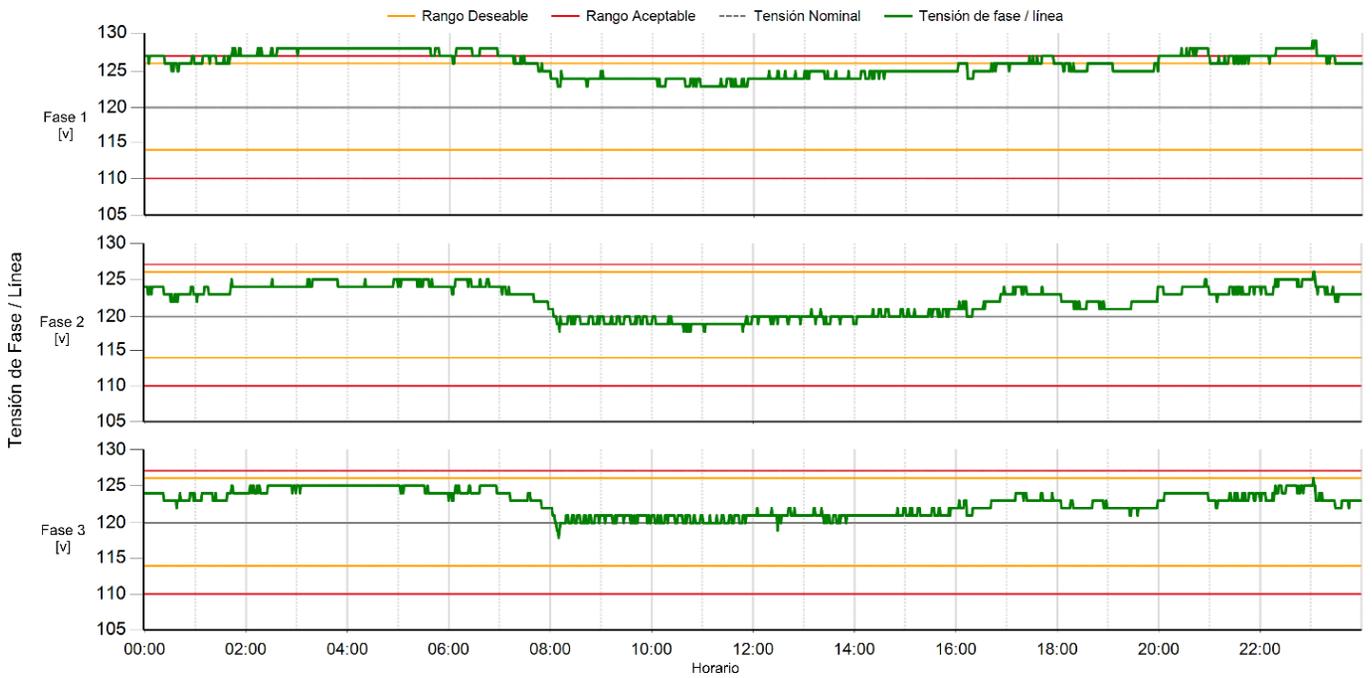


Figura 3 - 21. Gráfico de tensiones por fase

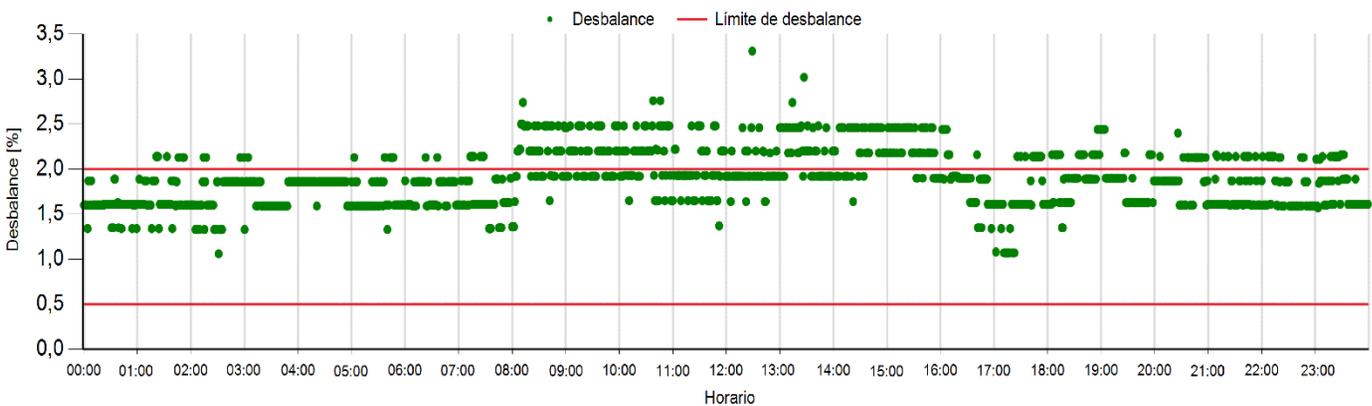


Figura 3 - 22. Niveles de desbalance de tensión

Con los análisis realizados con respecto a la tensión es posible obtener la información presentada en la tabla 3-7:

Tabla 3 - 7. Resultados de los análisis de los niveles de tensión

Parámetro	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Tensión mínima	123 V	118 V	118 V
Hora tensión mínima	08:08	08:11	08:10
Tensión máxima	129 V	126 V	126 V
Hora tensión máxima	23:01	23:03	23:03
Tensión media	125,9 V	122,1 V	122,7 V
Lecturas fuera del rango aceptable	307	0	0
Porcentaje lecturas rango deseable	60,1%	100%	100%

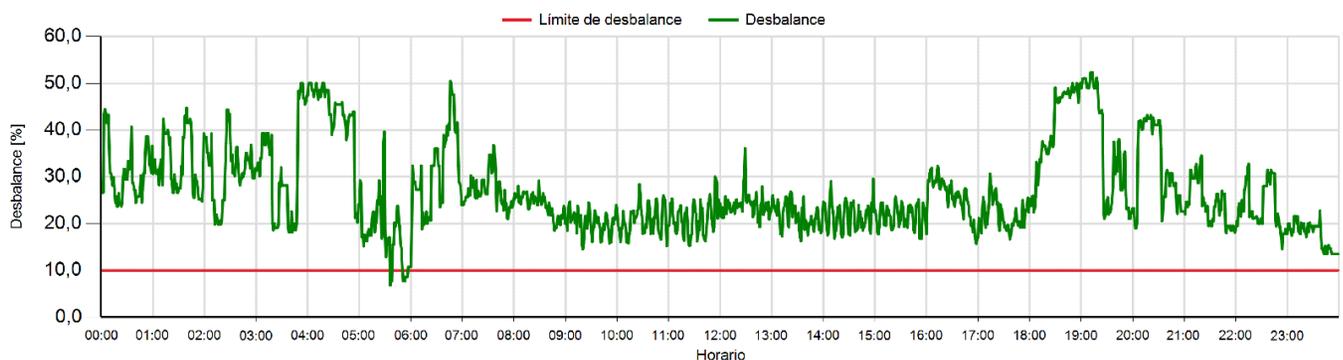
- No se detectó la presencia de fenómenos electromagnéticos de corta o larga duración durante el día analizado. Este es un comportamiento deseable para la edificación. A pesar de ello en la fase 1 se registraron un número no despreciable de lecturas que superan el rango aceptable.
- De los 1440 valores de desbalance de tensión el 29,1% está fuera de los límites permitidos. Los niveles más altos de esta variable se registran en el rango de las 08:04 - 16:22.
- Debe analizarse con detenimiento los niveles de tensión en las fases 2 y 3, puesto que valores bajos pudieran traer como consecuencia que los equipos con 220V de tensión nominal conectados a estas fases reciban niveles muy bajos de tensión. Para los mínimos registrados, 118V, correspondería una tensión de línea de 204,4V lo que se considera bajo.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

En este caso las tensiones de las fases 2 y 3 están algo bajas, lo que representa un problema para los equipos de 220V que registran una tensión de línea baja. En las mediciones realizadas se encontró que podía estar incluso en 200V. Esto es un problema que repercute en el consumo pues a menor tensión se consume más corriente para la misma potencia lo que además provoca mayores pérdidas.

Corrientes:

Uno de los aspectos que más sobresale en esta variable es el desbalance que existe entre los niveles registrados en cada una de las fases, como lo refleja el gráfico de la figura 3-23:

**Figura 3 - 23. Niveles de desbalance de corriente**

El comportamiento de los niveles de corriente durante ese día queda registrado en el gráfico recogido en el Anexo 31, mientras que en el Anexo 32 se puede consultar los diagramas fasoriales de corriente y tensión. De estos gráficos es posible obtener los siguientes valores y conclusiones:

Tabla 3 - 8. Resultados de los análisis de los niveles de corriente

Parámetro	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Corriente máxima	238 A	326 A	246 A
Hora corriente máxima	09:25	12:29	12:29
Corriente media	93,2 A	123,6 A	84,7 A
Corriente media horario laboral	184,6 A	248,3 A	177,4 A

- Existen niveles perceptiblemente superiores de corriente en la fase 2 con respecto a las restantes. Los niveles registrados en esta fase fueron un 28.03% superiores al promedio de las fases 1 y 3 durante todo el día. Este comportamiento pudiera evidenciar que existe un número mayor de cargas monofásicas conectadas a ella o que la capacidad de las cargas es superior al del resto de las fases.
- El rango de tiempo donde se registraron los niveles más altos de corriente fue de las 08:00 a las 10:00 coincidente con la hora de inicio del horario laboral.
- Un 99,4% de los niveles de desbalance calculado están fuera del límite permitidos por la norma, teniendo como media de desbalance un 24,63 %. Los peores niveles están fuera del horario laboral, teniendo como máximo un 52,38%.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

Los niveles de desbalance de corrientes están elevados, influenciados sobre todo por los registros de la fase 2. Esto se debe a que en esta fase están conectados, además de un número grande de computadoras, cargas con tensión nominal 220V como son el refrigerador industrial y los climas. Estos equipos, que se encuentran conectados fundamentalmente entre las fases 1 y 2, al no estar uniformemente distribuidos entre las fases provocan este comportamiento.

Armónicos:

En la tabla 3-9 se resume el comportamiento de la distorsión armónica y su impacto en el sistema eléctrico de la entidad. Para consultar los gráficos de distorsión total armónica de tensión (THD_V) y corriente (THD_I) para cada una de las fases ver el Anexo 33 y Anexo 34 respectivamente.

Tabla 3 - 9. Datos sobre el comportamiento de la distorsión armónica

Parámetro	THD_{V1}	THD_{V2}	THD_{V3}	THD_{I1}	THD_{I2}	THD_{I3}
Valor máximo	5,7	5,4	6,1	19,1	14,5	17,6
Hora del valor máximo	13:05	13:22	13:58	07:59	07:59	16:52
Valor mínimo	1,8	1,8	2,2	0	0	0

Hora del valor mínimo	01:59	02:14	02:12	00:00	00:00	00:00
Valor medio	3,6	3,6	4,2	7,1	4,6	5,6
Lecturas en el rango normal	1149	1254	932	764	908	1053
Lecturas fuera del rango permitido	291	186	508	676	532	387

Luego de estos resultados es de interés analizar cómo queda el espectro de los armónicos tanto de las tensiones como para las corrientes incluidos en el Anexo 35. El horario escogido para el análisis es las 15:07. Con los elementos vistos anteriormente es posible llegar a las siguientes conclusiones:

- Los niveles de THD_V y THD_I registrados están sobre los límites permitidos. Estos deben ser analizados en un rango mayor de tiempo para definir si existe la necesidad de instalar filtros.
- El mayor armónico registrado en el espectro de armónico para las tensiones es el tercero, cayendo a cero después del armónico 19 en los 3 casos. Igual sucede para las corrientes, pero este caso los niveles de distorsión caen a cero después del armónico 17 en los 3 casos.

Consideraciones sobre los resultados obtenidos:

Las lecturas de THD fuera de rango tanto en tensión como en corriente no son mayoría en ninguno de los casos, aunque como es de esperarse, si se analizan las gráficas obtenidas se aprecia que estas ocurren mayormente durante el horario laboral. Por ello que hará un estudio estadístico que incluya un número mayor de días con el objetivo de definir si se necesita colocar filtros. Por otro lado la presencia de terceros armónicos y el desbalance existente, calculado en reportes anteriores, hacen que exista una circulación de corriente por el neutro. Estos dos fenómenos combinados pueden llevar al calentamiento del conductor neutro y a un incremento de las pérdidas.

3.5 Análisis económico de la implantación del sistema

Para analizar económicamente la implantación de este software se toma a la entidad como si fuera un cliente, no como una dependencia de la empresa que desarrolla el sistema. El costo total de este servicio es \$10 050,00 CUC que incluye el equipamiento, instalación y puesta en marcha, software y licencia de uso, aplicación para dispositivos móviles, curso de capacitación, entre otros elementos. Por otra parte es necesario conocer las ganancias anuales que se tienen con este sistema. En este caso se tienen en cuenta solo 3 elementos de los detectados durante la revisión:

- El error en la facturación del mes de junio donde no se incluyen los \$229,17 de bonificación por elevado factor de potencia. Se tiene en cuenta en el primer año pues solo ocurrió en un mes.
- La recontractación de la demanda máxima. Según los resultados de los cálculos realizados, es posible esperar ahorros en el orden de los \$714,00 para un comportamiento similar al registrado en el 2014.
- Los ahorros que pudieran esperarse luego de que se apliquen las medidas señaladas durante el informe. Para conocer este estimado, se analiza el comportamiento que ha tenido el primer trimestre del año 2015. Es importante aclarar que las medidas que fueron aplicadas en los meses anteriores a

estos solamente incluyen, además de la citada anteriormente, medidas organizativas y de hábitos de consumo, todas ellas sin impacto económico para su implantación. Esto hace que se prevean mejores resultados cuando culmine la puesta en marcha de la totalidad de las medidas. Teniendo en cuenta que el precio del petróleo en el último año cayó apreciablemente (un 16,31%), y con ello el valor del factor K, las facturaciones de estos 3 meses fueron recalculadas teniendo en cuenta los valores de este factor en el mismo período del 2014. Con lo cual se busca evitar introducir errores que eleven los ahorros obtenidos. Luego de acotar estos puntos, es posible decir que en el primer trimestre del 2015 se obtuvo un ahorro en cuanto a consumo de un 3,54% con respecto al año anterior, mientras que en los costos la disminución fue de un 4,65%. Esto equivale a un monto de \$3136,31 anuales.

Luego de computar estos elementos con otros tales como las tasas de descuento e inflación o la tasa de impuesto sobre la ganancia, se arriba a los resultados presentados en el Anexo 36. En el resalta que la TIR es del 16,09% y que el VPN al terminar el séptimo año es de \$10473,77. Además se indican que la recuperación de la inversión se logra a los 3,5 años, como se aprecia en el gráfico del VPN vs tiempo (ver Anexo 37). Estos parámetros muestran que el proyecto es factible económicamente.

3.6 Análisis de los resultados

La instalación tiene las potencialidades tecnológicas y el capital humano calificado necesario para mejorar su gestión energética. Existe una estructura dedicada a la administración de la energía y al seguimiento de las medidas que se apliquen en pos de disminuir el consumo eléctrico y aumentar la eficiencia energética. No quiere ello decir que no existan renglones o aspectos en los que se debe mejorar. Los resultados demuestran que existen medidas organizativas, de superación del personal y de hábitos de consumo que deben ser tomadas. El desarrollo de esta tesis, la instalación del sistema XYMA. AMR-ELECTRICITY y sobre todo el interés por parte de la dirección de la empresa sin duda pondrán a la entidad en posición de mejorar notablemente su desempeño energético en un período corto de tiempo.

No hay duda que el portador más importante de la entidad es la electricidad, representando el 73,53% del consumo total de energía y el 71,14 % de la estructura de gastos anuales. Lo que no significa que se deba desatender los otros portadores, más cuando solamente son 5 los utilizados en la edificación.

El parámetro productivo de la entidad quedó bien establecido como las “Horas Totales Trabajadas en el mes”. Este presenta una buena correlación con los consumos registrados, la cual se vio incrementada de un año a otro. Comportamiento similar registró la energía no asociada, la cual representa un 30,77% de la media mensual de consumo. Aunque el incremento no fue sustancial y debe quedar resuelto con las medidas planteadas con vista a disminuir el consumo, especialmente en los horarios no productivos. Con ello debe aprovecharse parte de los 496,7 kWh que se calcularon como potencial de mejora.

El consumo eléctrico se mantuvo controlado en los meses analizados a excepción del mes de julio, que registró un pico que provocó alteraciones en los indicadores y parámetros establecidos. Ello demuestra que debe tenerse cuidado con los consumos fuera de lo planificado si se quiere cumplir con los

compromisos establecidos en este sentido. Se detectaron como modelos a seguir los comportamientos de los meses de enero, abril, agosto, septiembre, octubre y diciembre, pues registraron índices de consumo inferiores los esperados para las HTT_{mes} registradas en esos meses. Es destacable en esa lista la presencia de 4 de los 6 últimos meses del año, lo que indica que las medidas aplicadas a partir del segundo semestre del 2013 tuvieron buenos resultados; sobre todo las tomadas en el horario de mayor impacto (“Día”), que coincide en su mayor parte con el horario laboral. A pesar de que el consumo fuera de este horario es inferior, se considera que es ahí donde existe un mayor margen de mejora, debiendo pasar del 21,95% del consumo total que representa actualmente, a oscilar el 15%.

Los planes de consumo mensual establecidos son incumplidos en 9 de los 12 meses del año. Esto evidencia que a pesar de que se tomen medidas de ahorro, los niveles de consumo esperados son apreciablemente menores de los que se registran en realidad, por lo que se debería reacomodar estos planes. Las mayores potencialidades para mejorar el consumo mensual las tienen los días no laborables. Para aprovecharlas se deben tener en cuenta el listado de medidas definido que incorpora acciones para mejorar tanto los consumos y como los niveles de demanda.

El impacto ambiental registrado para el año de 379,18 TnCO₂ no es apreciablemente alto, aunque sin duda existen posibilidades para mejorar tanto en las emisiones directas como indirectas. Este es un potencial que debe aprovecharse en aras de que los productos de la empresa puedan insertarse en mercados más exigentes en este sentido. Una de estas brechas es la inexistencia de proyectos de aplicación de energías renovables en los renglones del proceso productivo de la empresa. Este es un potencial que debe comenzar a explotarse con la instalación de calentadores y paneles solares, con lo que se espera como suplir, al menos en parte, el consumo de energía necesario para un grupo no despreciable de servicios, repercutiendo positivamente en los consumos mensuales.

El sistema de transformación se ha comportado correctamente, sin que se detectaran problemas en este sentido y manteniendo siempre una eficiencia superior al 95,36%. Solo señalar la diferencia que existe entre las penalizaciones calculadas y facturas que, aunque en este caso no represento problema para la empresa, si sería beneficioso que aclarara este punto con los especialistas de la empresa eléctrica.

De los parámetros relacionados con la calidad de la energía sin duda el que llama más la atención por su potencial de mejora es la demanda. Quedó demostrado que existe un margen apreciable entre las demandas registradas y la contratada, por lo que se ha pagado en exceso en este sentido. Por lo cual al recontractar la demanda a 105 kW se debe obtener ahorros inmediatos en el orden de \$ 715,00 anuales.

La frecuencia y el factor de potencia se comportaron dentro los niveles esperados. Este último registrando niveles medios de 0,98, lo que condujo a bonificaciones todo el año. Queda demostrado que los niveles de potencia de mayor importancia se registran en el horario de la mañana, lo que influye igualmente en el consumo. Esto se debe fundamentalmente a que en este horario los aires descansan menos pues aún se encuentran en busca de la temperatura de confort. Por ello el control en este

intervalo es vital para lograr los niveles esperados de consumo y demanda que disminuyan los costos asociados a estos parámetros.

Los niveles de tensión registrados en las fases 2 y 3 están bajos, por lo que se deberían ajustar los taps del transformador. A pesar de que cumplen la norma ANSI C 84.1 valores entre 118V y 120V provocan que se tengan tensiones de línea alrededor de 204V, lo que representa un problema para los equipos de 220V que registran una tensión muy baja. En las mediciones realizadas se encontró que podían estar incluso en el entorno de 200V. Esto es un problema que repercute en el consumo pues a menor tensión se consume más corriente para la misma potencia lo que adicionalmente provoca mayores pérdidas y calentamiento en las líneas. Con esta medida se debe resolver también los niveles de desbalance de tensión por encima de los límites normados que se midieron sobretodo en el horario laboral.

Un elemento sugerido en varias oportunidades en este estudio es la necesidad de realizar un reacondo de las cargas, no solo en el rango de horarios sino también en busca de equiparar las cargas conectadas a cada una de las fases. Esto queda demostrado en el análisis de las corrientes cuando se ve los altos niveles de desbalance existentes. Esta situación puede traer graves afectaciones como las que se han ido registrando en la entidad. Se refiere por parte del energético que a principios del 2013 se presentó un problema en uno de los locales de la primera planta cuyas líneas se quemaron por el calentamiento provocado por el exceso de cargas conectadas a él.

3.7 Conclusiones parciales

Luego de poner en marcha el sistema en la instalación seleccionada para evaluar la validez del nuevo módulo de diagnóstico y de la solución en su conjunto se llegaron a las siguientes conclusiones parciales:

- Se evidenció la aplicabilidad del sistema como una herramienta útil para la implementación de un SGEN basado en la norma NC-ISO 50001:2011. El módulo de diagnóstico incorpora funcionalidades que permiten un procesamiento más eficiente del cúmulo de información que se tiene con el objetivo de hacer a la entidad mejorar su gestión energética.
- Permitió al energético de la entidad acortar los plazos necesarios para culminar la revisión energética; además de que incorporó en su contenido análisis y variables que no habían sido estudiadas con anterioridad, haciendo que se obtuvieran mejores resultados en un período más corto de tiempo.
- Se constató la importancia de la electricidad dentro de la estructura de portadores de la entidad y se determinó que el parámetro productivo que define su desempeño energético son las “Horas Totales Trabajadas en el mes”, (HTT_{mes}). Se obtuvo que su índice desempeño energético es de 0,605 kWh/ HTT_{mes} , valor este que servirá de referencia para otras entidades de característica similares.
- La herramienta es capaz de detectar problemas y sugerir soluciones con una alta fiabilidad incluso en una entidad que no presenta grandes problemas en el uso racional de la energía, justificando económicamente su implantación y puesta en marcha.

Conclusiones generales

Luego de culminar esta investigación es posible llegar a las siguientes conclusiones:

1. La crisis mundial de los combustibles fósiles y la inestabilidad de sus precios ha catalizado el sector de los sistemas de monitoreo y control de los portadores energéticos en busca de alternativas que permitan la disminución de los consumo y los costos a la vez que se aumenta la eficiencia energética.
2. En busca de cubrir la necesidad existente en el mercado nacional de sistemas que fueran capaces no solo de monitorear y mostrar variables eléctricas, sino también de realizar estudios sobre ellas, se desarrolló un módulo para el sistema XYMA. AMR-ELECTRICITY que permite brindar un análisis energético a través de los datos existentes de una instalación determinada.
3. Con la incorporación de esta nueva herramienta el sistema ha pasado a ser una ayuda sustancial para el gestor energético en la implementación de un SGEN basado en la norma NC-ISO 50001:2011. Todo ello gracias a funcionalidades que ofrecen un procesamiento más eficiente de la información que se tiene y a facilidades para el monitoreo de tiempo real de una gran cantidad de variables.
4. Se demuestra en la práctica la utilidad de este instrumento para determinar posibles problemas en el uso de la energía y sugerencias de soluciones con lo cual se acortan los plazos necesarios para culminar una revisión energética.
5. Utilizando esta herramienta queda establecido, con un nivel de correlación aceptable, que el parámetro productivo de la entidad objeto de estudio son las “Horas Totales Trabajadas en el mes”, (HTT_{mes}), y que su índice de consumo es $0,605 \text{ kWh}/HTT_{mes}$.
6. A pesar de no ser una instalación donde existieran grandes problemas en la gestión y uso de la energía, con lo que se pudieran esperar ahorros sustanciales, se logró disminuir el consumo eléctrico en un 3,54% y los costos en un 4,65% con relación a los valores registrados en el mismo período del año anterior, con lo que se demuestra que la implantación del sistema es económicamente factible.

Recomendaciones

Como recomendaciones que se derivan de esta investigación se tienen:

1. Incorporar al Módulo de Diagnóstico Energético las funcionalidades necesarias para realizar el análisis de los datos obtenidos de los metros inteligentes que se encuentren sectorizando una instalación.
2. Realizar una validación del sistema en instalaciones de ambiente industrial para la generalización de su uso.
3. Incluir en versiones posteriores al agua y gas licuado dentro de las posibilidades de gestión del sistema.
4. En relación a la instalación que se analiza en este trabajo se recomienda que se culmine la implantación de la totalidad de las medidas que fueron referidas en este estudio, con vista a seguir mejorando su gestión energética.

Bibliografía

- [1] . M. Ing. Patabendige Asitha Swarnajith Dias, Sistema Informático para el Monitoreo y Control Energético en el Sector Industrial basado ISO 50001. (SIMCEI 1.0), Cienfuegos, Cuba, 2013.
- [2] T. y. C. Ministerio de Industria, «Estrategia de ahorro y eficiencia energética en España 20012-2018,» IDAE, Madrid, España, 11 de noviembre de 2011.
- [3] «Lineamientos del Partido y la Revolución,» Partido Comunista de Cuba, La Habana, 2011.
- [4] Secretaría Central de ISO, «ISO 50001 Energy Management Systems - Requirements with guidance for use,» Organización Internacional para la Estandarización, CH- 1211 Ginebra 20, Suiza, 2011.
- [5] O. AhorrodeEnergia, «ahorrodeenergia.org,» Abril 2014. [En línea]. Available: <http://ahorrodeenergia.org/padrao.php?id=27>. [Último acceso: 15 mayo 2014].
- [6] Colectivo de autores, Gestión Energética en el Sector Productivo y los Servicios, Cienfuegos: Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Editorial Universidad de Cienfuegos, Cuba., 2006.
- [7] I. L. Iturbe y S. Miguel , «Sistemas de gestión energética:¿ resultan rentables?,» *Dyna*, vol. 90, nº 3, pp. 270-274, 2015.
- [8] Asociación Española para la Calidad (AEC) , «Gestión de la Energía,» Madrid, 2013.
- [9] «Sostenibilidad de los Programas de Eficiencia Energética en Cuba,» UNE, La Habana, 2012.
- [10] A. B. Fernández, «Los sistemas de gestión de calidad y su entorno global,» *Técnica Industrial*, vol. 309, pp. 58-64, 2014.
- [11] M. Lapidó Rodríguez, J. P. Monteagudo Yanes y A. E. Borroto Nordelo, «La gestión energética y la competitividad empresarial.,» [En línea]. Available: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia29/HTML/articulo10.htm> Accedido el 23 / 03 / 2012.. [Último acceso: 2014 septiembre 12].
- [12] NU. CEPAL. Subsede de México, «La Economía Cubana: Reformas estructurales y desempeño en los noventa.,» CEPAL, Fondo de Cultura, ISBN: 9681662156, 2000.
- [13] C. Universidad de Cienfuegos, Gestión y Economía Energética, Cienfuegos: Editorial Universidad de Cienfuegos, 2006.
- [14] A. Borroto y J. P. Monteagudo, «<http://www.cubasolar.cu>,» Universo Sur, Cienfuegos, 2002.
- [15] L. M. Ing. Lacosta Rubio, Auditoría energética. Procesos y ejemplos., Madrid: Intelligent Energy Europe, 2013.
- [16] C. Msc. González, «Plan de Eficiencia y Auditorías Energéticas,» La Habana, 2012.
- [17] F. Ing. Percy R. Viego , «Ahorro de Energía Eléctrica en Instalaciones Industriales,» Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba, 2011.

- [18] M. Lapido Rodriguez, «Indicadores,» 7 Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://www.usp.br/pure/scc/upload/Estudios%20de%20Indicadores.%20Diciembre.7,%202011.%20V1%20M.%20Lapido.pdf>. [Último acceso: 12 Junio 2014].
- [19] M. C. Rubio, «Luces y sombras sobre las auditorías energéticas. Técnica Industrial,» *Técnica Industrial*, vol. 309, p. 4, 2015.
- [20] G. Salar Alcazar, «Memoria de buenas prácticas energéticas en polígonos industriales,» 2015.
- [21] EN/CENELEC meeting centre, «Meters and More Technology,» *OPEN Meter*, 16 de junio 2011.
- [22] C. Brasek, «IEEE standard for automatic meter reading via tele-phone-network telemetry interface unit,» IEEE Standards Coordinating Committee 31 on Automatic Meter Reading and Energy Management, 2009.
- [23] «Sistemas AMR,» Romatech, Enero 2013. [En línea]. Available: http://www.romatech.cl/Romatech/AMR_files/AMR%20Expo%202.pdf. [Último acceso: Agosto 2013].
- [24] R. I. Duerr, «Smart Grid, la red eléctrica inteligente del futuro,» Deutsche Welle, Junio 2013. [En línea]. Available: <http://www.dw.de/smart-grid-la-red-el%C3%A9ctrica-inteligente-del-futuro/a-16781949>. [Último acceso: Agosto 2013].
- [25] A. Carvallo y J. Cooper, «The advanced smart grid: Edge power driving sustainability,» *Artech House*, 2015.
- [26] G. Vidrio, «Infraestructura de Medición Avanzada (AMI),» Instituto de Investigaciones Eléctricas, Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://www.slideshare.net/FiiDEM/infraestructura-de-medicin-avanzada-ami-en-las-redes-inteligentes>. [Último acceso: Agosto 2013].
- [27] M. Ruiz, Milton y M. García, «INTEROPERABILIDAD ENTRE MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL.,» pp. Quito, Ecuador, 2014.
- [28] J. Berst, «Essential skills for smart metering success,» *Smart Grid News*, 16 de abril del año 2012.
- [29] Schneider Electric, «Soluciones de Eficiencia Energética,» Ciudad de Panamá, 2014.
- [30] I. Navigant Consulting, «Pike Research,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.navigantresearch.com/>.
- [31] Comisión Nacional de Energía (CNE), «Uso integral de los Sistemas de Gestión Energética,» CNE, Madrid, 2013.
- [32] P. Bharath, N. Ananth, S. Vijetha y K. Prakash, «Wireless Automated Digital Energy Meter,» vol. 3, nº 3, 2012.
- [33] dpto. Comunicación CIRCUTOR, SA, «Software de gestión energética,» Vial Sant Jordi, s/n 08232 Viladecavalls (Barcelona) España, 2014.
- [34] «Aplicación PowerStudio en CIRCUTOR,» CIRCUTOR, SA, Viladecavalls, Barcelona, España, 2013.

- [35] Verdantix, «Green Quadrant® Building Energy Management Software (Global),» Miami, 31/3/2014.
- [36] «Schneider Electric, líder en software de gestión de la energía,» Schneider Electric, Enero 2013. [En línea]. Available: <http://www.schneider-electric.com/site/home/index.cfm/es/>. [Último acceso: Agosto 2013].
- [37] OLADE, «<http://www.olade.org/>,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.olade.org/sectores/electricidad/>.
- [38] «Guía para la Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía,» Agencia Chilena de Eficiencia Energética, 2012. [En línea]. Available: http://guiaiso50001.cl/media/Guia_ISO_50001_Chile.pdf. [Último acceso: Septiembre 2013].
- [39] C. A. Serna Machado, «Gestión energética empresarial una metodología para la reducción de consumo de energía,» *Producción + Limpia*, vol. 5, nº 2, Julio - Diciembre de 2010.
- [40] Universidad autónoma de Occidente y Universidad del Atlántico, «Herramientas para el análisis de caracterización de la eficiencia energética,» GRUPO DE GESTIÓN EFICIENTE DE ENERGÍA, Colombia.
- [41] FUNDIBEQ, Enero 2013. [En línea]. Available: http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/diagrama_de_dispersion.pdf. [Último acceso: 13 Junio 2014].
- [42] F. Mendiburu, «Análisis de Regresión y Correlación,» 2013. [En línea]. Available: <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu/index-filer/academic/metodos1/Regresion.pdf>.
- [43] R. Msc. del Pilar Castrillon y Ing. Janeth González, «MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO POR PROCESO HÚMEDO A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA,» *Dyna*, vol. 80, nº 177, Febrero 2013.
- [44] J. Y. Su, F. F. Gan y X. Tang, «Optimal Cumulative Sum Charting Procedures Based on Kernel Densities.,» *Frontiers in Statistical Quality Control 11. Springer International Publishing*, pp. 119-134, 2015.
- [45] S. d. E. Eléctrica, «Programa de ahorro y Eficiencia Energética en edificios públicos,» Secretaría de Energía, Buenos Aires, 2004.
- [46] I. 14064-1, «Gases de Efecto Invernadero. Especificaciones y orientaciones, a nivel de la organización, para la cuantificación y la declaración de las emisiones y reducciones de gases de efecto invernadero.,» Asociación Española para la Calidad (AEC), Madrid, España, 2012.
- [47] ISCC, «Metodología para el cálculo de emisiones de GEI y auditoría de GEI,» Vols. %1 de %22.3-UE, 15/3/2011.
- [48] AccuWeather, Inc, «AccuWeather.com,» Febrero 2015. [En línea]. Available:

<http://www.accuweather.com/es/cu/havana/122438/february-weather/122438>.

- [49] SMA Solar Technology AG, «Factores para calcular la prevención de CO₂ durante la generación de corriente,» [En línea]. Available: <http://files.sma.de/dl/7680/SMix-UES091910.pdf>.
- [50] « Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente,» ONU, Julio 2014. [En línea]. Available: <http://www.unep.org/spanish/climatechange/>.
- [51] B. Parker, «Planning Analysis: Calculating Growth Rates,» 2002.
- [52] «Procedimiento de aplicación de las tarifas eléctricas,» Ministerio de Finanzas y Precios, La Habana, 2001.
- [53] Ministerio de Finanzas y Precios, «Resolución No.277,» Gaseta Oficial, La Habana, 1ero de Julio del 2014.
- [54] P. Lyons, . N. S. Wade, T. Jiang y P. C. Taylor, «Design and analysis of electrical energy storage demonstration projects on UK distribution networks,» *Applied Energy*, vol. 137, pp. 677-691, 2015.
- [55] M. I. Ing. González, B. Ing. Gonzalo y B. Ing. Mariano, «Tarifas Eléctricas y Aplicaciones de Control Energético,» ATECNA Ingeniería, Chile, Enero 2003.
- [56] M. H. Rashid, M. H. González y A. Pozo Suárez, *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones.*, Pearson Educación, 2004.
- [57] «Calidad de la energía eléctrica,» departamento de ingeniería, Septiembre 1 2012. [En línea]. Available: <http://www.fuzzycontrolsac.com/articulos/articulo1.htm>. [Último acceso: Agosto 2013].
- [58] J. D. Vaquiro, «Periodo de recuperación de la inversión - PRI,» Asesoría y Consultoría para Pymes, 23 Febrero 2010. [En línea]. Available: <http://www.pymesfuturo.com/pri.htm>. [Último acceso: 2 Julio 2014].
- [59] «Enciclopedia Financiera,» EnciclopediaFinanciera.org, 2013. [En línea]. Available: <http://www.encyclopediainanciera.com/finanzas-corporativas/valor-presente-neto.htm>. [Último acceso: 2 Julio 2014].
- [60] S. Fernandez, «Los proyectos de inversión,» Editorial Tecnológica de Costa Rica, Costa Rica, 2007.
- [61] J. G. Altuve, *El uso del valor actual neto y la tasa interna de retorno para la valoración de las decisiones de inversión.*, SUMARIO Editorial, Universidad de los Andes, ISSN: 1316-8533, 2004.
- [62] «WordReference.com,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.wordreference.com/definicion/t%C3%ADpico>. [Último acceso: 5 Mayo 2015].
- [63] «Análisis de los circuitos de Corriente Alterna,» Centro Integrado de Formación Profesional (MSP), 2014. [En línea]. Available: http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=1&id_sec=9.
- [64] «Análisis del uso de la energía,» Schneider Electric, Agosto 2012. [En línea]. Available: <http://www.schneider-electric.com/site/home/index.cfm/es/>. [Último acceso: Julio 2013].

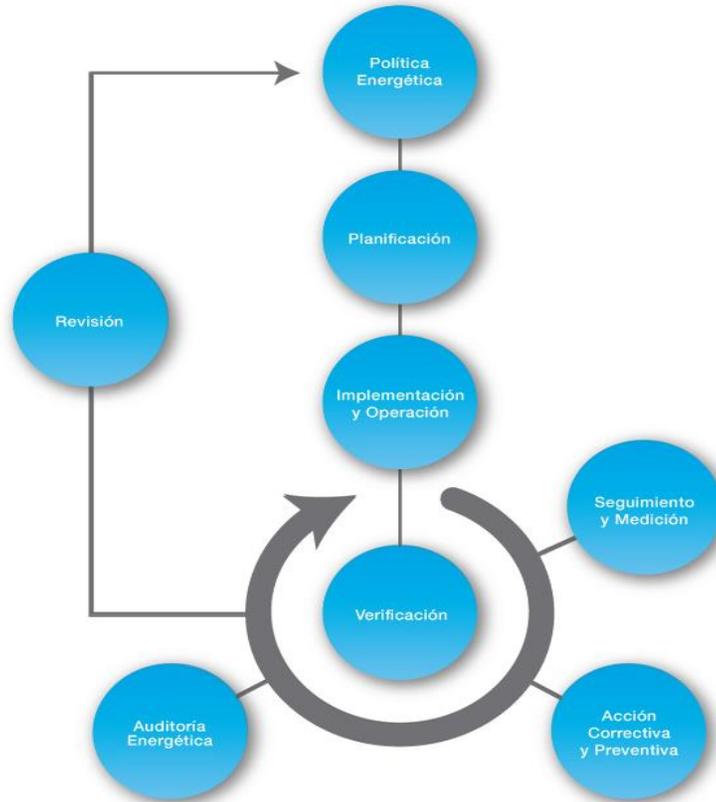
- [65] M. Lamich Arocas, «Eliminación de perturbaciones de baja frecuencia en redes eléctricas mediante compensadores estáticos,» *Materia*, vol. 27, p. 2, 2015.
- [66] «Reglamento Electrotécnico Cubano parte 1: Baja Tensión NC 800-1:2011,» Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Mayo 2011.
- [67] «nergiza.com,» NEnergiza, 12 Diciembre 2012. [En línea]. Available: <http://nergiza.com/eficiencia-energetica-es-siempre-el-camino-correcto/>. [Último acceso: Agosto 2013].
- [68] P. R. Dr.C. Viego Felipe y E. A. Ms.C. Padrón Padrón, Temas especiales de sistemas eléctricos industriales, Cienfuegos: CEEMA, 2000.
- [69] A. Delgadillo y J. Reneses, «Analysis of the effect of voltage level requirements on an electricity market equilibrium model.,» *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 71, pp. 93-100, 2015.
- [70] H. Markiewicz y A. Klajn, «Norma EN 50160 - Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución,» International Copper Association, Belgium, Julio 2004.
- [71] I. E. Commission, «“IEC 61000-4-30”,» International Electrotechnical Commission, Tech, 2003. [En línea]. [Último acceso: Marzo 2015].
- [72] «IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (IEEE Std. 1159-1995),» Institute of Electrical and Electronics Engineers, Estados Unidos, 1995.
- [73] . T. A. Short, *Electric power distribution handbook*, CRC press., 2014.
- [74] G. Casaravilla y V. Echinope, «Desbalances - Estudio de alternativas para su estimación,» Universidad de la República de Uruguay.
- [75] D. Acemoglu y G. Fagnani, «Harmonic Influence in Largescale Networks.,» *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, vol. 42, nº 3, pp. 24-24, 2014.
- [76] «UNE,» Unión Eléctrica Nacional, 2013. [En línea]. Available: <http://www.cuba.cu/categorias.php?cat=5&subcat=33&page=1&perpage=30&persearch=0>. [Último acceso: 20 Junio 2014].
- [77] «Sistemas de Fuerza Industrial, S.A. de C.V.,» Schneider Electric, 2013. [En línea]. Available: <http://www.sfindustrial.com/images/productos/p82.pdf>. [Último acceso: 26 5 2014].
- [78] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, «Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020,» Madrid, 2007.
- [79] F. B. Silva, A. López Díaz y A. M. Venero Carrasco, «El triángulo de la gestión energética en la empresa: optimización de compras, mantenimiento y eficiencia energética.,» *Ingeniería Industrial* , nº 32, pp. 11-25, 2015.
- [80] J. Juca y A. Edwin, «Eficiencia energética mediante sistemas scada para el control de la demanda

de una residencia,» 2014.

- [81] A. Brothman, «Automatic Remote Reading of Residential Meters,» vol. 13, nº 2, 2005.
- [82] G. Comodi y A. Severini, «Multi-apartment residential microgrid with electrical and thermal storage devices: Experimental analysis and simulation of energy management strategies.,» *Applied Energy*, vol. 137, pp. 854-866., 2015.
- [83] J. Delgado y M. Gallastegui, «IMPACTO ECONÓMICO Y AMBIENTAL DEL PLAN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CIUDAD DE BILBAO.,» *DYNA Energía y Sostenibilidad*, vol. 4, nº 1, pp. 1-8, 2015.
- [84] B. Golden, «Method for controlling energy resources.». Estados Unidos Patente 8,855,829., 7 Octubre 2014.
- [85] M. Ippolito y E. Rivas, «Impact of building automation control systems and technical building management systems on the energy performance class of residential buildings: An Italian case study.,» *Energy and Buildings*, vol. 69, pp. 33-40..
- [86] R. Missaoui, «Managing energy smart homes according to energy prices: analysis of a building energy management system.,» *Energy and Buildings*, vol. 71, pp. 155-167., 2014.
- [87] J. Rasmussen, «Energy-efficiency investments and the concepts of non-energy benefits and investment behaviour.,» *In ECEEE 2014, Industrial Summer Study: Retool for a competitive and sustainable industry*, pp. 733-744, Junio 2014.
- [88] «Software controlled power management,» *In Hardware/Software Codesign. Proceedings of the Seventh International Workshop on*, pp. 157-161, 2011.
- [89] L. Zhang, N. Gari y L. V. Hmurcik, «Energy management in a microgrid with distributed energy resources.,» *Energy Conversion and Management*, vol. 78, pp. 297-305, 2014.
- [90] M. Lapido Rodríguez y J. R. Gómez Sarduy, «RODRÍGUEZ, C. Margarita Lapido; SARDUY, C. Julio R. Gómez. Participación de la Universidad en la mejora de la eficiencia energética del sector productivo cubano.,» *Universidad y Sociedad*, vol. 6, nº 2, 2014.
- [91] D. B. Rojas Rodriguez y O. Prías, «Herramientas Lean para apoyar la implementación de sistemas de gestión de la energía basados en ISO 50001.,» *Energética*, nº 44, pp. 49-60, 2014.
- [92] G. Cañizares, «La gestión energética y su impacto en el sector industrial de la provincia de Villa Clara, Cuba,» *Tecnología Química*, vol. 34, nº 1, pp. 13-21, 2014.

Anexos

Anexo 1 Estados del ciclo de gestión energética



Anexo 2 Preguntas para caracterizar los niveles de gestión energética en la empresa

Política Energética
Existe un representante de la gerencia para la eficiencia energética en la empresa y auxiliares este en cada área o nivel de empresa.
Existe un árbol de indicadores energéticos a nivel de empresa que permite evaluar el impacto de cada área en el indicador general de la empresa así como valores de referencia establecidos.
Existe una evaluación y un registro diario o semanal de los comportamientos de los indicadores de eficiencia y consumos absolutos de energía a nivel de áreas y a nivel de empresa.
Existe retroalimentación del representante a las áreas y la gerencia sobre los resultados del monitoreo del comportamiento de los indicadores y consumos en cada área y la empresa.
Existe un espacio mensual para evaluación de aspectos como, las buenas prácticas de gestión empresarial por la eficiencia energética, el comportamiento de indicadores y consumos energéticos, así como de la marcha de los proyectos de mejora de la eficiencia energética.
Existen auditorías periódicas por el representante de gerencia para la eficiencia energética a las

buenas prácticas de gestión a nivel de áreas.
Se realiza el ajuste de las metas de eficiencia energética de la compañía cada año productivo en función de los resultados alcanzados por cada área y la empresa.
Existen actividades de promoción a proyectos de mejora de la eficiencia energética en la empresa, invitación a especialistas en diagnósticos energéticos para conversatorios o visitas a otras empresas con resultados observables en estos temas.
Se confecciona mensualmente por el representante de gerencia información divulgativa sobre el desempeño de la gestión energética por áreas y a nivel de empresa y se retroalimenta al personal.
Gerencia
La empresa tiene un programa definido para la capacitación del personal clave para mantener y mejorar la eficiencia energética y los índices de consumo en los niveles presupuestados.
Existen indicadores de desempeño energético a nivel de empresa y de áreas claramente entendidos por todos y que su divulgación permite conocer la situación mensual de los mismos.
Los indicadores de desempeño energético forman parte de los calificadores para la obtención de bonificaciones por resultados en la empresa.
La empresa logra que el personal desarrolle un sentido de pertenencia con respecto a la reducción de los costos energéticos.
Existe un grupo de trabajo que evalúa la marcha del desempeño de los indicadores energéticos de la empresa y las áreas productivas periódicamente adoptando medidas en casos necesarios.
Existe un procedimiento establecido para determinar y validar el potencial de reducción del consumo de energía.
Existe sistemas automático para efectuar el monitoreo de los indicadores energéticos a nivel de áreas productivas.
Existe una estructura formal o no formal en la empresa con responsabilidades definidas para atender la eficiencia energética a nivel de áreas y a nivel de empresa.
Gestión tecnológica y ambiental
Se conoce la eficiencia energética de los equipos principales de la empresa y están identificados los proyectos de mejora de los mismos.
Se conoce la eficiencia energética de los procesos productivos de la empresa, existe un registro de sus indicadores y están identificados los proyectos requeridos para la mejora de la eficiencia energética que repercuten en un incremento de la productividad.
La empresa entre sus misiones comerciales hace benchmarking de le eficiencia energética de los procesos e índices de consumo de empresas similares.
Existe un procedimiento para evaluar el impacto de las modificaciones de los procesos productivos en la empresa sobre la eficiencia energética del área y de la empresa antes que estas se produzcan.

La empresa tiene un programa de evaluación técnica y económica de la adquisición de equipos, tecnologías y modernización de sus procesos de producción considerando el incremento de la eficiencia energética.
La empresa conoce las normas ambientales que la controlan y tiene establecidos los procedimientos y procesos para cumplirlas.
La empresa mide el desempeño ambiental frente a metas y estándares previamente acordados.
Para la selección, instalación, operación y mantenimiento de equipos se realizan consideraciones ambientales, además de los aspectos técnicos y económicos.
La empresa trata de minimizar el consumo de energía, agua y materias primas contaminantes mediante la mejora de sus procesos productivos, el reciclaje, el mantenimiento preventivo y el uso de otras tecnologías.
La empresa ha medido la cuantía del desperdicio, sabe en qué etapa del proceso es generado y ha formulado planes para reducirlo.
La empresa considera las regulaciones ambientales y el impacto en la eficiencia energética cuando desarrolla nuevos productos y servicios, o realiza cambios en su infraestructura física.
Divulgación y Sistema de información
Se confecciona mensualmente por el representante de gerencia información divulgativa sobre el desempeño de la gestión energética por áreas y a nivel de empresa.
Existe a la vista de todo el personal de la empresa el estado del cumplimiento de los indicadores de eficiencia energética en las áreas claves de la empresa y a nivel de empresa.
Existe una buena comunicación oral y escrita a través de los diferentes niveles de la compañía en temas relacionados con el ahorro de energía.
En el sistema de información general de la empresa están incorporados los indicadores energéticos.
Existe un sistema de información automatizado de la empresa diseñado para satisfacer los requerimientos funcionales de información de la Gerencia General y de todos los departamentos en forma oportuna y confiable.
La empresa está actualizada en materia de nuevos desarrollos en programas, equipos de cómputo y de medición y tiene el personal capacitado para manejarlos.
La Gerencia ha definido los reportes que indiquen el tipo de datos requeridos para el proceso de toma de decisiones en el sistema de información donde está incluido el de eficiencia energética.
Existe un sistema efectivo de retroalimentación con los trabajadores que permite procesar todos aquellos planteamientos que mejoren los indicadores energéticos de la empresa.
Planeación y producción
Existe una política energética insertada en la política general de la empresa.
Existen metas a nivel de empresa y de áreas cuyo cumplimiento permite lograr sus objetivos

energéticos.
Existe un presupuesto de consumo de energía para la empresa y en cada área, determinado cuantitativamente en función de los pronósticos de producción y de los índices de consumo esperados, de acuerdo con el nivel de eficiencia real de los procesos productivos.
Están identificadas y cuantificadas en cada área las variables que más impactan la eficiencia energética a nivel operacional.
Existe un procedimiento establecido para determinar los indicadores de eficiencia energética que puede alcanzar cada área en función del nivel de su producción.
Los niveles de consumo y eficiencia energética son discutidos y aprobados con participación de las áreas que deben cumplirlos.
Se conoce la capacidad real de cada equipo por área de producción y se planea el rango deseado de su utilización teniendo en cuenta no solo factores productivos, sino también cuanto se incrementa el índice de consumo.
Existe un sistema de monitoreo de indicadores energéticos y metas diario que permite corregir desviaciones de estos respecto a la meta deseada.
Están capacitados los trabajadores en el conocimiento energético de los procesos que manejan para efectuar auto diagnósticos energéticos y corregir o identificar potenciales de mejora.
Mantenimiento y aseguramiento de la calidad
Se realiza un programa de mantenimiento planificado correctivo, preventivo o predictivo, a todos los equipos en función de la importancia productiva, su estadística de fallos y del impacto en el consumo de energía de la empresa.
Se realizan auditorías energéticas anualmente para conocer el estado de eficiencia energética de sus equipos y actualizar sus planes de mantenimiento y de proyectos de mejora de la eficiencia.
La empresa ha realizado un estudio de aplicación de formas de energía renovable en sus procesos productivos.
Existe documentación técnica del fabricante de los equipos con las recomendaciones de mantenimiento y de operación. Esta es conocida y aplicada correctamente por sus operadores.
Los tiempos de atención a requerimiento de mantenimiento y reparación de falla se consideran adecuados en la empresa.
La Gerencia General tiene como filosofía impulsar programas de calidad en la empresa y para ello capacita a todos los trabajadores en aspectos de calidad y de mejoramiento continuo incluyendo temas de eficiencia energética.
Los productos de la empresa cumplen con las normas técnicas establecidas para el sector y existe un benchmarking en cuanto a índices de consumo energético conocido por todos.
El sistema de calidad involucra los controles necesarios para identificar y medir defectos y sus causas

en los procesos de producción, los retroalimenta para implementar acciones correctivas y les hace seguimiento.
Los resultados de las inspecciones de calidad son documentados a través de todo el proceso productivo. En estas son evaluados los aspectos de control de pérdidas energéticas, efluentes energéticos e índices de consumo.
La empresa dispone de información de sus competidores en cuanto a calidad del producto y composición de los precios, especialmente el componente energético de los mismos.
La empresa está certificada con las normas ISO14000 e ISO 9000.
La empresa aplica voluntariamente una norma de gestión energética como la ISO 50001.
Inversiones
Existe un procedimiento para la compra de equipos consumidores de energía que garantiza la adquisición más eficiente posible económicamente.
Existen criterios formales para la planificación de la compra de materias primas, materiales y repuestos teniendo en cuenta el impacto de los mismos en los consumos energéticos de la empresa.
La empresa tiene un plan de contingencia para proveerse de energía en el caso que se incrementen sus compromisos comerciales.
Se tiene el seguimiento en la empresa de cuanto han variado en los últimos 2 años los costos de energéticos para iguales niveles de producción, por tipo de producto realizado.
La empresa en sus catálogos de venta incluye sus logros e indicadores de control de emisiones, de eficiencia energética o del adecuado uso de los recursos naturales y energéticos en la producción.
La empresa cuenta con una fuente de proveedores de equipos de medición y control para las variables de sus procesos que satisface oportunamente sus necesidades en este campo.
La empresa mantiene en almacén los suministros necesarios para garantizar el funcionamiento más eficiente de la línea productiva.
Se cuentan con estrategias de inversiones bien definidas a favor del ahorro energético y para aprovechar todas las oportunidades de mejora existentes.
Contabilidad y finanzas
Se conocen los costos energéticos secundarios y primarios por área y a nivel de empresa.
Se asignan los costos energéticos correspondientes a cada área para su desempeño contable como centro de costo en función de lo que consume realmente y no por prorrato.
Existe la posibilidad de contabilizar diariamente la producción realizada y el consumo energético para esa producción en área.
Existe un procedimiento de prefacturación para verificar la factura energética y aprobar el pago de la misma.
El sistema de contabilidad provee información confiable sobre los costos unitarios de energía de los

productos a nivel de empresa y de áreas para la toma de decisiones.
Existe un sistema claro para definir los costos energéticos en las áreas y en la empresa, dependiendo de las características de los productos y de los procesos.
La empresa tiene una planeación financiera en la cual tienen en cuenta entre sus presupuestos de gastos las inversiones en eficiencia energética y en sus presupuestos de ingresos el incremento de la eficiencia energética de sus procesos.
Se comparan mensualmente los resultados financieros con los presupuestos, se analizan las variaciones y se toman acciones correctivas.
La empresa evalúa la utilidad de sus inversiones en equipos, otros activos fijos y en general de sus inversiones, incluidas las de eficiencia energética.

Anexo 3 Factor de conversión a Tonelada Equivalente de Petróleo

Portador	Factor de Conversión	Portador	Factor de Conversión
Electricidad (MWh)	0,34810	Kerosina (Ton.)	1,07090
Fuel Oil (Ton.)	0,94444	Nafta (Ton.)	1,09710
Diesel (Ton.)	1,05340	Gas Licuado (Ton.)	1,16310
Gasolina Reg. (Ton.)	1,35410	Gas Manufacturado (m ³)	0,0005
Gasolina Esp. (Ton.)	1,35759	Lubricantes	1,00000

Fuente: Unión Nacional Eléctrica año 2013 [48]

Anexo 4 Evaluación de pautas de distribución anormales.

Los criterios para conocer y evaluar si existen pautas de distribución anormales son:

- 1. Secuencia o corrimiento:** Si hay 7 o más puntos consecutivos por encima o por debajo de la línea base, entonces es posible juzgar que el valor medio de la distribución ha cambiado hacia el lado de la línea de centro en que se encuentran los puntos consecutivos. Este comportamiento posiblemente este provocado por una causa irregular o por un corrimiento en alguno de los elementos del proceso.
- 2. Sesgo:** Si existe una gran cantidad de puntos no consecutivos de un lado de la línea (Superior al 80%) se puede decir que existe este tipo de anomalía.
- 3. Tendencia:** Se considera tendencia a 6 o más puntos que suben o caen consecutivamente, independientemente de que lado de la línea se encuentren.
- 4. Aproximación al límite:** Si 2 de 3 puntos consecutivos est n a más de 2/3 de la distancia entre el límite y la línea centro, puede considerarse que en ese período existió una anomalía.

5. Periodicidad: Ocurre periodicidad si la posición de los puntos de datos puede ascender y descender en forma de onda periódica. A menudo es útil en el análisis del proceso determinar el período, amplitud y causas de este fenómeno periódico. *(Esta anomalía debe ser analizada por el usuario de forma visual pues no es detectada por el sistema)*

Anexo 5 Coeficientes de emisión de los combustibles para actividades que no incluya transportación

Combustible	Coeficiente de emisión	Combustible	Coeficiente de emisión
Electricidad (2014)	0,751 kg CO _{2e} / kWh	Fuel	3,05 kg CO _{2e} / kg
Propano	2,94 kg CO _{2e} / kg	Carbón	2,53 kg CO _{2e} / kg
Butano	2,96 kg CO _{2e} / kg	Gasolina (94 octanos)	3,38 kg CO _{2e} / kg
Etanol	0,956 kg CO _{2e} / kg	Gasolina (90 octanos)	3,20 kg CO _{2e} / kg
Queroseno	2,50 CO _{2e} / Litro	Nafta	2,37 CO _{2e} / Litro
Gas natural	2,16 kg CO _{2e} / Nm ³	GLP	2,96 CO _{2e} / kg
Gas oíl	2,79 kg CO _{2e} / Litro	Bioetanol	3,38 CO _{2e} / Litro
Diésel	3,16 kg CO _{2e} / Kg	Biodiesel	2,61 CO _{2e} / Litro

Fuente: Metodología para el cálculo de emisiones de GEI y auditoría de GEI [47] y la Agencia Internacional de Energía (IEA) auditoría de GEI

Anexo 6 Coeficientes de emisión para vehículos

Tipo de vehículo utilizado	Velocidades medias		
	Baja hasta 50 km/h	Media hasta 90 km/h	Alta Superiores a 90 km/h
Híbrido	105,43	101,86	129,44
GLP*	175,95	136,10	175,07
GNC**	202,53	134,42	144,71
ciclomotor	79,58	-	-
Motocicleta 2t (< 250cc)	105,22	85,87	126,32
Motocicleta 4t (< 250cc)	83,03	80,56	108,48
Motocicleta 4t entre (250cc – 750cc)	134,71	105,73	138,00
Motocicleta 4t (> 750cc)	169,37	123,60	149,01
Auto ligero (Gasolina)	263,60	203,24	228,87
Auto ligero (Diésel)	214,46	162,50	181,11

Furgoneta (Gasolina)	391,20	210,84	213,71
Furgoneta (Diésel)	307,69	194,48	268,78
Autobús (Diésel)	1873,20	721,12	596,21
Camión rígido <= 14t (Gasolina)	788,53	397,25	410,38
Camión rígido > 14t (Gasolina)	1629,90	487,52	470,09
Camión articulado <= 34t (Diésel)	1484,79	583,59	537,76
Camión articulado > 34t (Diésel)	2147,16	666,35	601,14
Observaciones: Todos los factores de emisión están dados en g CO _{2e} /Km			
*GLP: Gas Licuado del Petróleo **GNC: Gas Natural Comprimido			

Fuente: Metodología para el cálculo de emisiones de GEI y auditoría de GEI [47]

Anexo 7 Datos eléctricos de la empresa suministrados por la UNE

Variable	Observación
Mes	Número del mes al que corresponde la factura.
Provincia	Cada provincia posee un número identificativo.
Código del cliente	Código del cliente para la UNE
Nombre	Nombre oficial en la UNE del servicio eléctrico de ese cliente.
jcp	Código de la antigua junta central de planificación; cada organismo o ministerio tiene un código cuyos tres primeros dígitos indica el ministerio.
nta	Tipo de cuenta refrendada en el contrato con el cliente.
cpc	Capacidad total del banco de transformadores (q+r+s)
exc	Servicio exclusivo o no exclusivo. El cliente paga como parte de su factura las pérdidas del transformador (kWp)
tt	Tipos de transformador que componen el banco (Monofásico / trifásico)
kva1	Capacidad de cada uno de los transformadores que componen el banco. El valor de la columna "cpc" es la suma de los kVA de estos tres.
Kva2	
Kva3	
dc	Demanda Máxima Contratada.
alim	Tipo de alimentación. Puede ser simple, doble (si se tiene un primario selectivo) o superior.

metraje	Lugar de la medición del metro contador con respecto al banco. “Baja” Quiere decir que está por el lado de baja del banco de transformador y “Alta” por arriba. Si la medición es por alta no se incluyen las pérdidas por transformación.
FP	Coseno del ángulo entre la tensión y la corriente.
dr	Demanda máxima real
kwh1	Consumo de energía de noche de las 21:00 hasta 05:00
kwh2	Consumo de energía de día de las 05:00 hasta las 17:00
kwh3	Consumo de energía pico de las 17:00 hasta las 21:00
kwhp	Consumo de energía por pérdidas.
kwht	Consumo total de energía. ($kWh_{TOTAL} = kWh_1 + kWh_2 + kWh_3 + kWh_p$)
icf	Importe por cargo fijo. Pago por la demanda máxima contratada.
i1	Importe del consumo de kW_1 (kWh_1)
i2	Importe del consumo de kW_2 (kWh_2)
i3	Importe del consumo de kW_3 (kWh_3)
ip	Importe por concepto de las pérdidas de transformación.
ifp	Importe por concepto de multa por bajo factor de potencia.
ipd	Importe por multa por pasarte de la máxima demanda contratada.
it	Importe total a pagar
iusd	Importe total en CUC
imn	Importe total en CUP
K	Coefficiente que depende el precio de petróleo internacional.

Fuente: Unión Nacional Eléctrica UNE año 2014

Anexo 8 Variantes que pudieran presentarse con la utilización de un primario selectivo

Clasificación de la utilización de primario selectivo		
Esquema eléctrico	UNE	Comentario
NO	NO	El sistema está correctamente clasificado ya que no posee un esquema de distribución con primario selectivo. En este caso solo se recomienda realizar mantenimientos preventivos en intervalos regulares de tiempo. Con ello se mejora el estado de funcionamiento y la fiabilidad del sistema, así como una disminución de las pérdidas en los distintos elementos que lo componen por deterioro, sobrecalentamiento, etc.
SI	SI	El sistema está correctamente clasificado ya que posee un esquema de distribución con primario selectivo. Debido a ello la empresa paga un cargo fijo que asciende a un 10% por encima de su demanda si posee doble alimentación. Este cargo fijo asciende a un 20% por encima de su demanda si la alimentación es triple. Debido a estas altas tasas impositivas es importante que el Especialista en gestión verifique la necesidad de requerir este esquema de distribución.
SI	NO	Su entidad está mal clasificada ya que posee un esquema de distribución con primario selectivo, sin embargo la Empresa Eléctrica la tiene registrada como que no lo posee. Esto constituye una ilegalidad por lo que su entidad puede ser sancionada severamente. Es importante que el Especialista en Gestión analice detenidamente este punto y aclare la situación del mismo. Al ser corregido la empresa comenzará a pagar un cargo fijo que asciende a un 10% por encima de su demanda si posee doble alimentación. Este cargo fijo asciende a un 20% por encima de su demanda si la alimentación es triple.
NO	SI	Su entidad está mal clasificada ya que no posee un esquema de distribución con primario selectivo sin embargo la Empresa Eléctrica la tiene registrada como que si lo posee. Debido a ello la empresa paga un cargo fijo que asciende a un 10% por encima de su demanda si posee doble alimentación. Este cargo fijo asciende a un 20% por encima de su demanda si la alimentación es triple. Debido a estas altas tasas impositivas es importante que el especialista en gestión analice detenidamente este punto. Solamente con corregir este error la empresa se estará ahorrando un monto considerable en su factura eléctrica.

Anexo 9 Tabla de corrección del factor de potencia

TAN Φ O COS Φ ANTES DE LA COMPENSACIÓN (VALOR EXISTENTE)		TAN Φ O COS Φ DESEADO (COMPENSADO)												
Tan Φ		0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
	Cos Φ	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40	1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
2,22	0,41	1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,032	2,225
2,16	0,42	1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
2,10	0,43	1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107
2,04	0,44	1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
1,98	0,45	1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,626	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988
1,93	0,46	1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
1,88	0,47	1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881
1,83	0,48	1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
1,78	0,49	1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782
1,73	0,50	0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51	0,936	1,037	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686
1,64	0,52	0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
1,60	0,53	0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54	0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
1,52	0,55	0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
1,48	0,56	0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
1,44	0,57	0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
1,40	0,58	0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
1,37	0,59	0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60	0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
1,30	0,61	0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
1,27	0,62	0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63	0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
1,20	0,64	0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
1,17	0,65	0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169
1,14	0,66	0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67	0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68	0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
1,05	0,69	0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
1,02	0,70	0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,796	0,811	0,878	1,020
0,99	0,71	0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,96	0,72	0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,94	0,73	0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,91	0,74	0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,88	0,75	0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,86	0,76	0,105	0,225	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77	0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829
0,80	0,78	0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,78	0,79	0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,75	0,80		0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,72	0,81		0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,70	0,82		0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
0,67	0,83		0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672
0,65	0,84		0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
0,62	0,85		0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620
0,59	0,86			0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
0,57	0,87			0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88			0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
0,51	0,89			0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512
0,48	0,90				0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

Fuente: Resolución 277-2 del 2014 del Ministerio de Finanzas y Precios [29]

Anexo 10 Pérdidas promedio de los transformadores de acuerdo a su capacidad

Pérdidas promedio de los transformadores de acuerdo a su capacidad (Monofásicos)			Pérdidas promedio de los transformadores de acuerdo a su capacidad (Trifásicos)		
kVA	P _{FE} (kW)	P _{CU} (kW)	kVA	P _{CU} (Kw)	P _{FE} (Kw)
5	0.046	0.107	25	0.553	0.230
10	0.065	0.180	37.5	0.718	0.259
15	0.084	0.251	40	0.860	0.263
25	0.115	0.389	50	1.125	0.268
37.5	0.162	0.487	63	1.170	0.285
50	0.199	0.626	75	1.306	0.443
75	0.269	0.882	100	1.771	0.468
100	0.332	1.185	150	2.218	0.813
167	0.482	1.893	200	2.738	1.143
250	0.660	2.802	300	4.206	1.349
333	0.83	3.587	400	5.803	1.457
			500	6.883	1.484
			630	7.736	1.531
			750	9.925	2.237
			800	10.340	2.300
			1000	11.115	2.594
			1250	15.520	2.705
			1600	16.587	3.174
			2000	23.95	3.649
			2500	23.100	5.175
			3200	37.000	11.500
			10000	65.000	14.500
			25000	120.000	27.000

Fuente: Resolución 277-2 del 2014 del Ministerio de Finanzas y Precios [29]

Anexo 11 Tensiones nominales según la norma ANSI C 84.1

Valor nominal	Rango deseable	Rango aceptable
120	126 - 114	127 - 110
208	218 - 197	220 - 191
240	252 - 228	254 - 220
277	291 - 263	293 - 254
480	504 - 456	508 - 440
2400	2525 - 2340	2540 - 2280
4160	4370-4050	4400 - 3950
4800	5040 - 4680	5080 - 4560
13800	14490 - 13460	14520 - 13110
34500	36230 - 33640	36510 - 32780

Fuente: ANSI C 84.1 [40]

Anexo 12 Definiciones de las variaciones de corta y larga duración.

Variaciones de corta duración		
Categorías	Duración típica	Magnitud típica de la tensión
Instantáneas		
Huecos	0,5 - 30 ciclos	0,1 – 0,9 p.u.
Crestas	0,5 - 30 ciclos	1,1 – 1,8 p.u.
Momentáneas		
Interrupción	0,5 - 3 seg	< 0,1 p.u.
hueco	30 ciclos - 3 seg	0,1 – 0,9 p.u.
Crestas	30 ciclos - 3 seg	1,1 – 1,4 p.u.
Temporal		
Interrupción	3seg – 1min	< 0,1 p.u.
hueco	3seg – 1min	0,1 – 0,9 p.u.
Crestas	3seg – 1min	1,1 – 1,2 p.u.
Variaciones de larga duración		
Interrupciones sostenidas	> 1 min	0,0 p.u.
Bajada de tensión	> 1 min	0,8 – 0,9 p.u.
Sobretensión	> 1 min	1,1 – 1,2 p.u.

Fuente: IEEE Prácticas recomendadas para monitorear de la calidad de la energía (IEEE 1159-1995) [45]

Anexo 13 Causas que provocan variaciones en los niveles nominales de tensión

Categorías	Causas
Bajada de tensión	<ul style="list-style-type: none"> • La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo. • Circuitos sobrecargados o Mal ajuste de los taps de los transformadores.
Sobretensión	<ul style="list-style-type: none"> • Desconexiones de grandes cargas o conexiones de bancos de capacitores, sobre todo cuando el sistema es débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de esta es inadecuado. • La incorrecta selección de los taps en los transformadores.
Huecos	<ul style="list-style-type: none"> • Son asociados a fallas del sistema o a la energización de grandes cargas y al arranque de motores de elevada potencia.
Crestas	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede presentar en la elevación de la tensión temporal sobre las fases no falladas durante una falla línea a tierra.
Interrupciones	<ul style="list-style-type: none"> • Daño en la red de suministro por caídas de rayos, árboles, accidentes, etc. • Interrupción en el suministro eléctrico debido a la desconexión automática de dispositivos de protección de la red.

Fuente: Reglamento Electrotécnico Cubano parte 1: Baja Tensión NC 800-1:2011 [40]

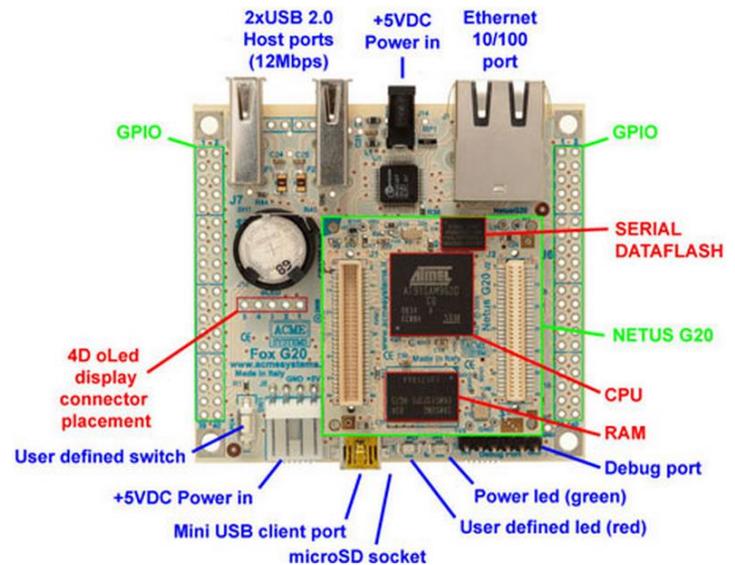
Anexo 14 Niveles permisibles de armónicos y los fenómenos asociados a estos

Indicador	Valor	Fenómeno	Estado
THD _V	Por debajo del 5%	Situación normal, sin riesgo de mal funcionamiento.	Normal
	Mayor del 5%	Gran polución armónica, son probables malas operaciones. Se requiere de un análisis profundo y de la instalación de dispositivos de atenuación.	No permitido
THD _I	Por debajo del 10%	Situación normal sin riesgos de mal funcionamiento.	Normal
	Mayor del 10%	Gran polución armónica, es probable el mal funcionamiento. Se requiere de un análisis profundo y de la instalación de dispositivos atenuadores.	No permitido

Fuente: Norma IEEE 1159:1995 [72]

Anexo 15 Datos técnicos FOX Board G20

- Forma NetusG20 con placa de CPU
- Potencia de alimentación (Netus PS1) a bordo.
Capaz de suministrar 2 x 3,3V, 1,8V, 1V
- Dos puertos host USB 2,0 (a 12 Mbits) que se puede conectar el dispositivo a Fox y a PC
- Un puerto Ethernet 10/100
- Un puerto serie de depuración (3,3 V)
- Dos puertos serie (3,3 V)
- Un puerto serie para la gestión de los OLED
- Un microSD tenido en cuenta
- Entrada 5 Vcc (Compatible con PS5V1A)
- Respaldo de batería de litio para RTC
- GPIO líneas (3,3V)
- ADC líneas
- Compatible con TUXCASE y FOXCAS



Anexo 16 Tabla de consumo y producción en el tiempo

Mes	Consumo Eléctrico (KWh)	Variación Consumo (%)	Producción	Variación producción (%)
Ene	17379	0,00	30950	0,00
Feb	20600	18,53	30086	-2,79
Mar	23211	12,67	31216	3,76
Abr	22540	-2,89	43455	39,21
May	25295	12,22	39442	-9,23
Jun	21525	-14,90	30439	-22,83
Jul	36886	71,36	63053	107,15
Ago	24077	-34,73	42552	-32,51
Sep	24986	3,78	46245	8,68
Oct	22722	-9,06	45486	-1,64
Nov	20560	-9,52	28101	-38,22
Dic	18082	-12,05	28204	0,37

Anexo 17 Anomalías detectadas

Mes	Comportamiento	Observaciones
Feb	Signos de la variación del consumo y de la producción diferentes.	El consumo aumentó mientras que la producción disminuyó. Este comportamiento no es deseable, debe analizarse las causas que lo originaron con vista a evitar ineficiencias.
Abr	Signos de la variación del consumo y de la producción diferentes.	El consumo disminuyó mientras que la producción aumentó. Este comportamiento es deseable, debe analizarse los factores que lo originaron con vista a mantenerlos.
May	Signos de la variación del consumo y de la producción diferentes.	El consumo aumentó mientras que la producción disminuyó. Este comportamiento no es deseable, debe analizarse las causas que lo originaron con vista a evitar ineficiencias.
Jul	Signos iguales, pero el valor de variación del consumo supera el 1,6 % de la tasa media en la variación.	El consumo se incrementó apreciablemente. Esta puede ser un señal de ineficiencias ya sean ligadas al proceso o a un incremento de la energía no asociada.
Dic	Signos de la variación del consumo y de la producción diferentes.	El consumo disminuyó mientras que la producción aumentó. Este comportamiento es deseable, debe analizarse los factores que lo originaron con vista a mantenerlos.

Anexo 18 Tabla de relación del consumo eléctrico y el parámetro relacionado

Mes	Consumo Eléctrico (kWh)			Parámetro Relacionado		
	Período Anterior	Período Actual	Diferencia	Período Anterior	Período Actual	Diferencia
Ene	22054	17379	-4675	40282	30950	-9332
Feb	19119	20600	1481	30121	30086	-35
Mar	18125	23211	5086	29404	31216	1812
Abr	23592	22540	-1052	43155	43455	300
May	23319	25295	1976	41112	39442	-1670
Jun	22676	21525	-1151	39741	30439	-9302
Jul	21491	36886	15395	34636	63053	28417
Ago	27512	24077	-3435	46355	42552	-3803
Sep	24395	24986	591	34091	46245	12154
Oct	26017	22722	-3295	43644	45486	1842
Nov	21980	20560	-1420	36439	28101	-8338
Dic	20176	18082	-2094	31769	28204	-3565

Anexo 19 Tabla de índices de consumo real y teórico

Mes	Consumo	Producción	IC real *	Consumo Teórico	IC teórico **
Ene	17379	30950	0,562	20093,6	0,649
Feb	20600	30086	0,685	19731,5	0,656
Mar	23211	31216	0,744	20205,0	0,647
Abr	22540	43455	0,519	25333,1	0,583
May	25295	39442	0,641	23651,7	0,600
Jun	21525	30439	0,707	19879,4	0,653
Jul	36886	63053	0,585	33544,7	0,532
Ago	24077	42552	0,566	24954,8	0,587
Sep	24986	46245	0,540	26502,2	0,573
Oct	22722	45486	0,500	26184,1	0,576
Nov	20560	28101	0,732	18899,8	0,673
Dic	18082	28204	0,641	18943,0	0,672

* IC real : Índice de consumo real

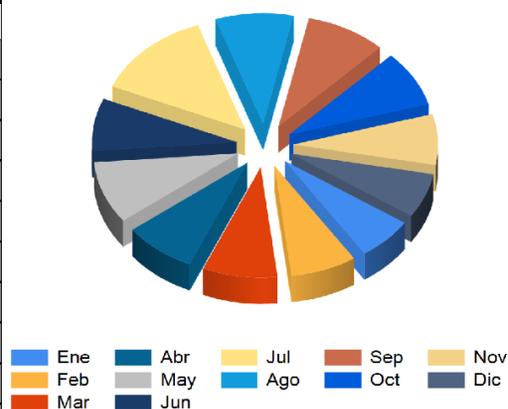
** IC teórico: Índice de consumo teórico

Anexo 20 Tabla de tendencia de tendencias o sumas acumulativas

Mes	Consumo (KWh)	Producción	Consumo teórico (KWh)	Dif. entre consumos (KWh)	CUSUM
Ene	17379	30950	20093,6	-2714,6	-2714,6
Feb	20600	30086	19731,5	868,5	-1846,1
Mar	23211	31216	20205,0	3006,0	3874,5
Abr	22540	43455	25333,1	-2793,1	212,9
May	25295	39442	23651,7	1643,3	-1149,8
Jun	21525	30439	19879,4	1645,6	3288,9
Jul	36886	63053	33544,7	3341,3	4986,9
Ago	24077	42552	24954,8	-877,8	2463,5
Sep	24986	46245	26502,2	-1516,2	-2394,0
Oct	22722	45486	26184,1	-3462,1	-4978,3
Nov	20560	28101	18899,8	1660,2	-1801,9
Dic	18082	28204	18943,0	-861,0	799,2

Anexo 21 Desglose mensual de las emisiones por concepto de consumo electricidad

Mes	Consumo kWh	Emisiones kg CO ₂	Porcentaje %
Ene	17379	13051,6	6,3
Feb	20600	15470,6	7,4
Mar	23211	17431,5	8,4
Abr	22540	16927,5	8,1
May	25295	18996,5	9,1
Jun	21525	16165,3	7,7
Jul	36886	27701,4	13,3
Ago	24077	18081,8	8,7
Sep	24986	18764,5	9,0
Oct	22722	17064,2	8,2
Nov	20560	15440,6	7,4
Dic	18082	13579,6	6,5



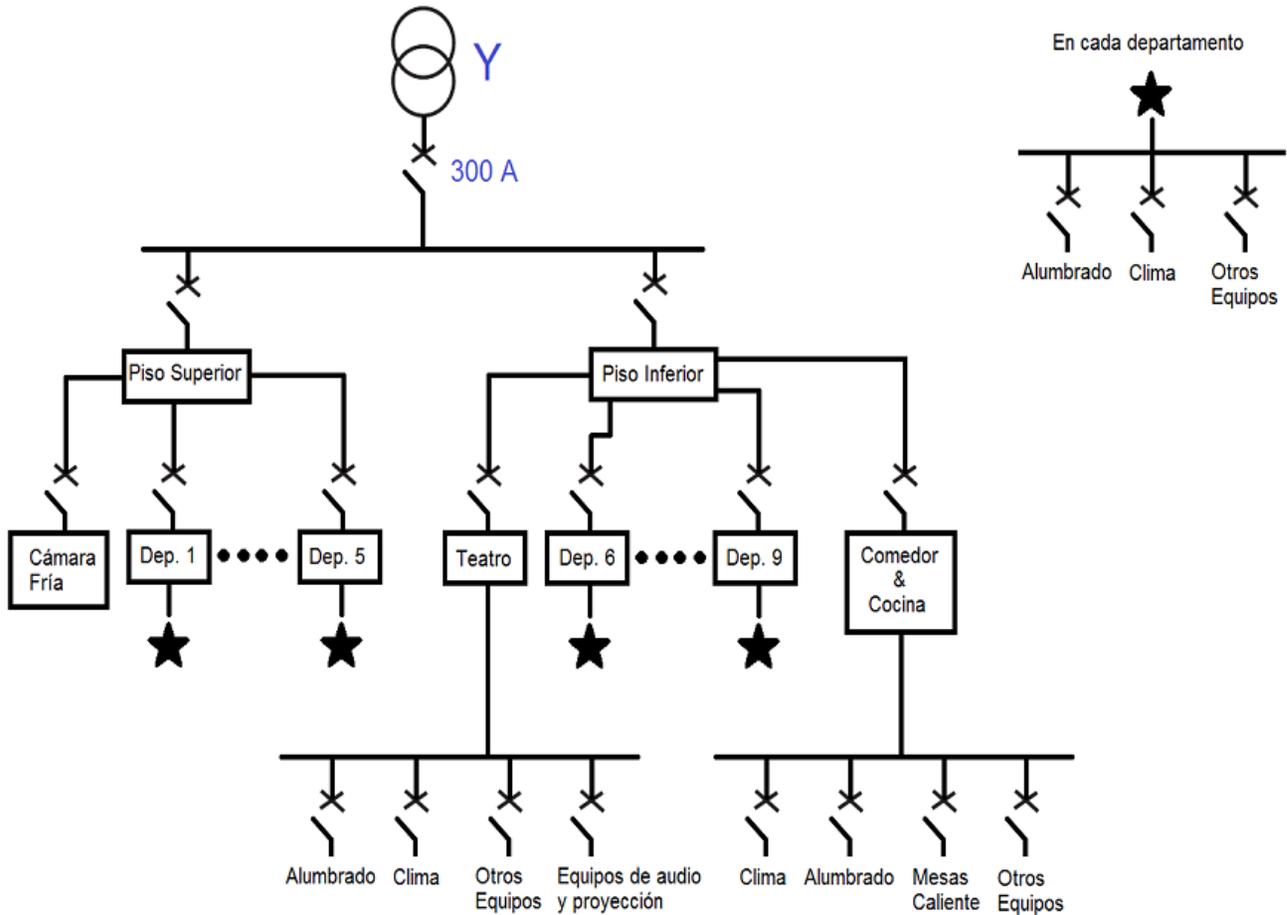
Anexo 22 Relación entre el consumo eléctrico mensual sus costos en la instalación

Mes	Período actual		Período base		Variación consumo (KWh)	Variación costo (\$)
	Consumo eléctrico (kWh)	Costo (\$)	Consumo eléctrico (kWh)	Costo (\$)		
Ene	17379	4506,85	22054	5380,81	-4675,00	-873,96
Feb	20600	5103,74	19119	4798,69	1481,00	305,05
Mar	23211	5537,59	18125	4606,20	5086,00	931,39
Abr	22540	5395,39	23592	5662,41	-1052,00	-267,02
May	25295	5979,70	23319	5629,43	1976,00	350,27
Jun	21525	5499,96	22676	5583,05	-1151,00	-83,09
Jul	36886	8536,55	21491	5360,80	15395,00	3175,75
Ago	24077	5807,93	27512	6531,49	-3435,00	-723,56
Sep	24986	6025,99	24395	5860,90	591,00	165,09
Oct	22722	5524,01	26017	6241,60	-3295,00	-717,59
Nov	20560	5028,02	21980	5506,96	-1420,00	-478,94
Dic	18082	4501,12	20176	5101,82	-2094,00	-600,70

Anexo 23 Relación entre el consumo eléctrico y sus costos por cada horario

Mes	Consumo Eléctrico (kWh)			Costos por consumo eléctrico (\$)		
	Día	Pico	Madrugada	Día	Pico	Madrugada
Ene	12700	1521	2591	2747,81	559,87	429,55
Feb	15738	1545	2745	3354,06	558,70	449,13
Mar	17501	1822	3227	3641,18	640,46	517,08
Abr	16545	1911	3450	3434,58	669,97	551,74
May	18621	2161	3811	3878,96	760,72	611,31
Jun	15967	1790	3152	3372,54	640,51	511,73
Jul	29930	2560	3370	6369,56	924,19	550,71
Ago	18515	1724	3161	3936,12	621,61	516,08
Sep	19040	1940	3325	4054,94	700,96	543,70
Oct	17393	1726	2952	3683,26	619,50	480,34
Nov	15423	1656	2881	3227,72	586,15	464,00
Dic	13266	1540	2699	2759,87	541,29	432,45

Anexo 24 Esquema eléctrico de la edificación



Anexo 25 Pérdidas mensuales por transformación

Mes	Consumo (kWh)	Perdidas facturadas (kWh)	Perdidas calculadas (kWh)	Diferencia (kWh)	Porcentaje (%)
Ene	17379	567,00	537,58	29,42	5,19
Feb	20600	572,00	602,79	-30,79	-5,38
Mar	23211	661,00	663,77	-2,77	-0,42
Abr	22540	634,00	647,41	-13,41	-2,12
May	25295	702,00	717,66	-15,66	-2,23
Jun	21525	616,00	623,56	-7,56	-1,23
Jul	36886	1026,00	1101,90	-75,90	-7,40
Ago	24077	677,00	685,61	-8,61	-1,27
Sep	24986	681,00	709,38	-28,38	-4,17
Oct	22722	651,00	651,80	-0,80	-0,12
Nov	20560	600,00	601,91	-1,91	-0,32
Dic	18082	577,00	550,87	26,13	4,53

Anexo 26 Datos relacionados con la Demanda Máxima Contratada

Mes	Dem. Max. Cont. (KWh)	Dem. Max. Real (KWh)	Imp. fijo (\$)	Imp. por penalizaciones (\$)	Total por penalizaciones (\$)
Ene	120	86	840,00	0,00	840,00
Feb	120	86	840,00	0,00	840,00
Mar	120	80	840,00	0,00	840,00
Abr	120	96	840,00	0,00	840,00
May	120	98	840,00	0,00	840,00
Jun	120	98	840,00	0,00	840,00
Jul	120	118	840,00	0,00	840,00
Ago	120	109	840,00	0,00	840,00
Sep	120	110	840,00	0,00	840,00
Oct	120	109	840,00	0,00	840,00
Nov	120	79	840,00	0,00	840,00
Dic	120	84	840,00	0,00	840,00
				0,00	10080,00

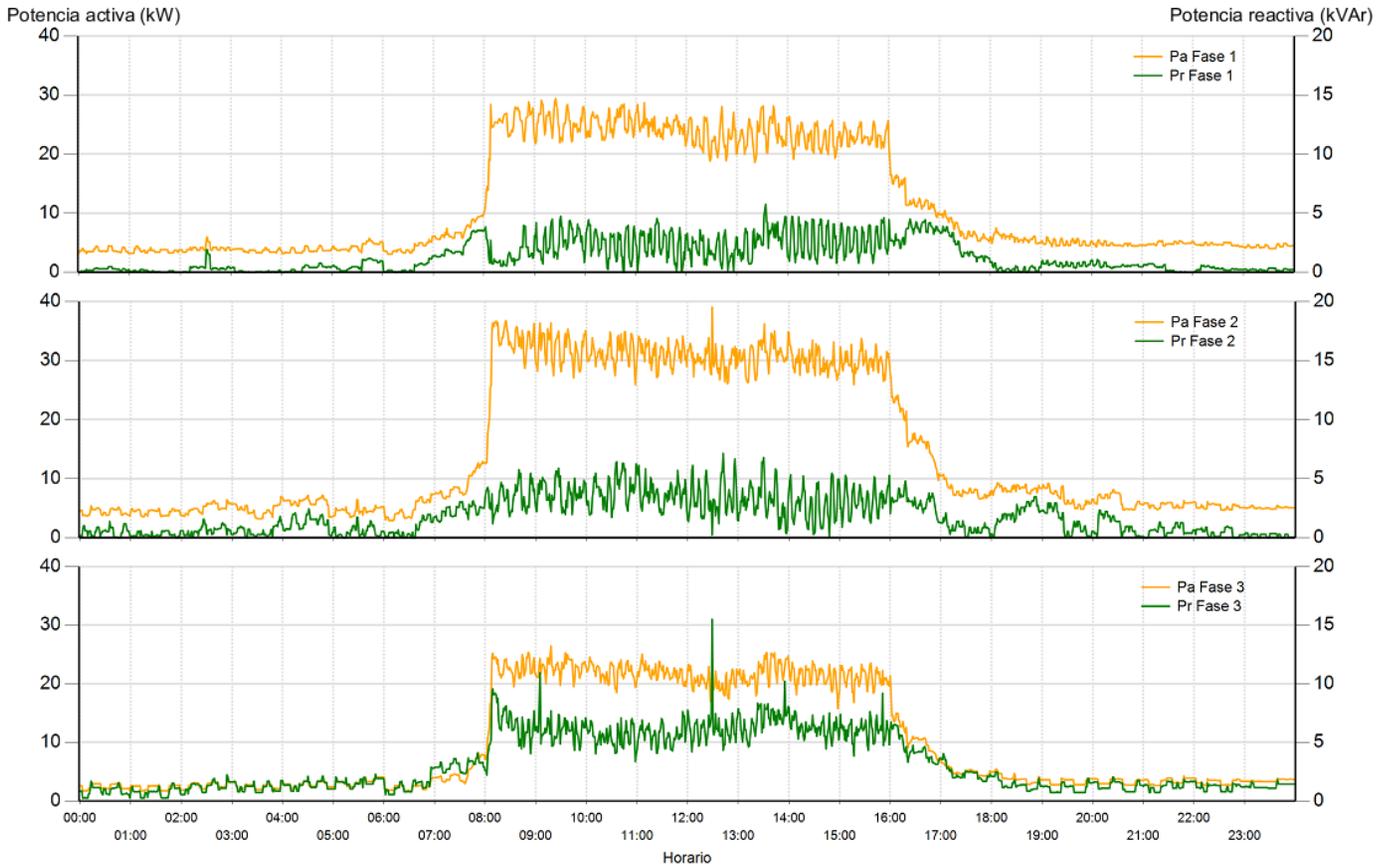
Anexo 27 Estimación de la demanda que debería contratarse por meses

Mes	Demanda Máxima Real (KWh)	Demanda Máxima estimada (KWh)	Penalizaciones estimadas (\$)	Total a pagar estimado (\$)
Ene	86	75,38	0,00	735,00
Feb	86	92,67	0,00	735,00
Mar	80	103,19	0,00	735,00
Abr	96	97,61	0,00	735,00
May	98	109,79	0,00	735,00
Jun	98	94,22	0,00	735,00
Jul	118	175,89	273,00	1008,00
Ago	109	109,05	84,00	819,00
Sep	110	112,05	105,00	840,00
Oct	109	102,52	84,00	819,00
Nov	79	91,04	0,00	735,00
Dic	84	78,65	0,00	735,00
			546,00	9366,00

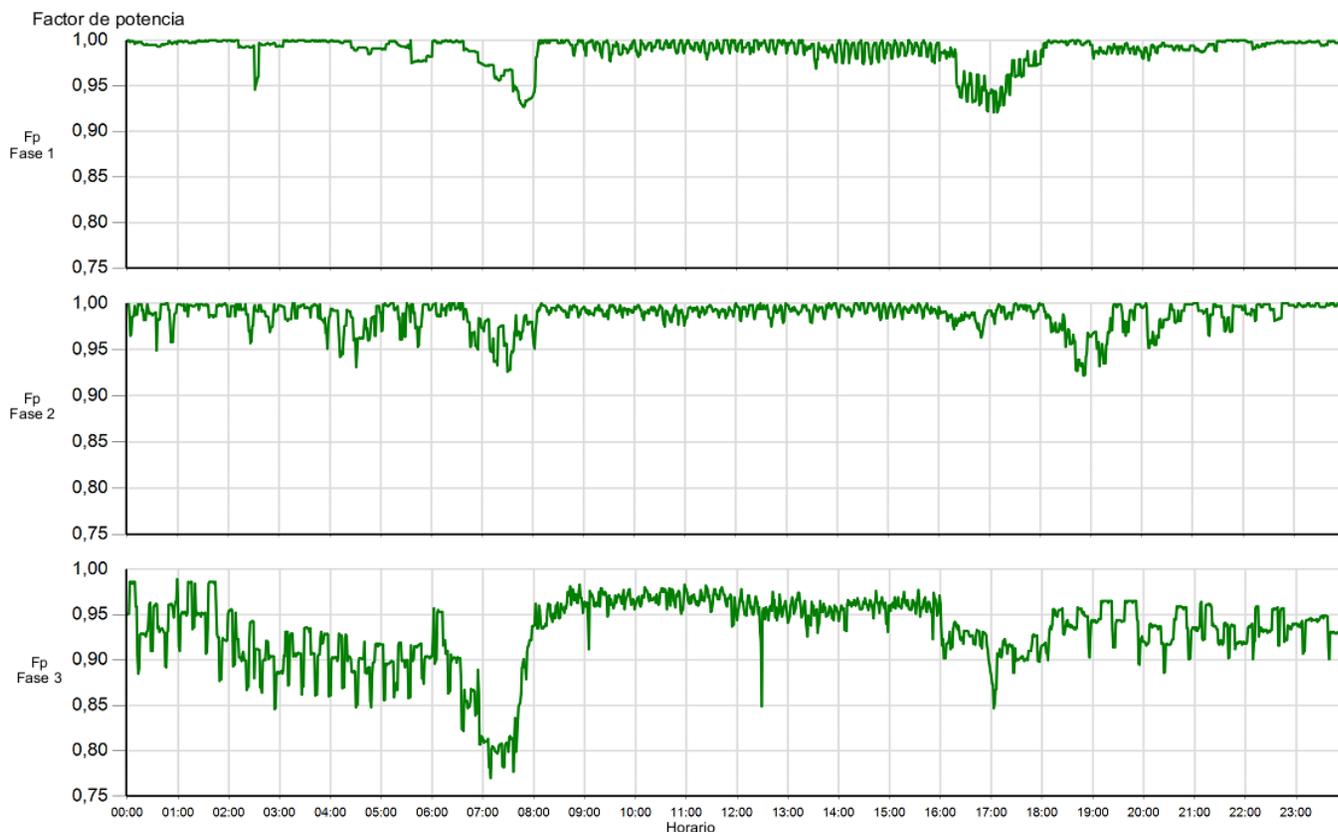
Anexo 28 Estado del factor de potencia en la entidad

Mes	Factor de potencia	Importe por FP (\$)	Energía Activa (kWh)	Energía Reactiva (kvarh)	Estado
Ene	0,98	-198	17379,00	3528,96	Bonificado
Feb	0,99	-225	20600,00	2935,34	Bonificado
Mar	0,99	-244	23211,00	3307,39	Bonificado
Abr	0,99	-237	22540,00	3211,78	Bonificado
May	0,99	-263	25295,00	3604,34	Bonificado
Jun	0,99	0	21525,00	3067,15	Bonificado
Jul	0,96	-374	36886,00	10758,42	Bonificado
Ago	0,99	-253	24077,00	3430,79	Bonificado
Sep	0,99	-262	24986,00	3560,31	Bonificado
Oct	0,99	-240	22722,00	3237,71	Bonificado
Nov	0,99	-219	20560,00	2929,64	Bonificado
Dic	0,98	-196	18082,00	3671,71	Bonificado
		-2709,59	277863	47243,54	

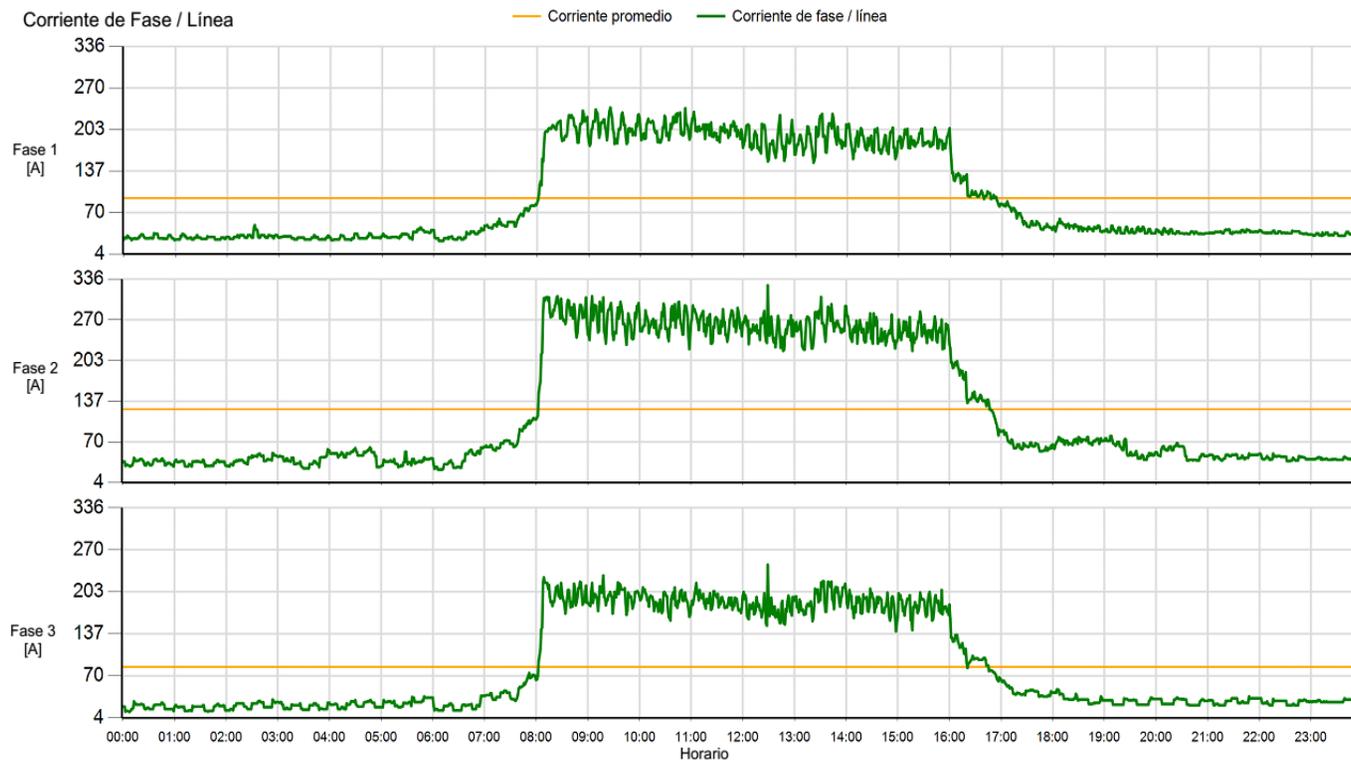
Anexo 29 Gráficos de potencia activa y reactiva por fases



Anexo 30 Gráficos de factor de potencia por fases

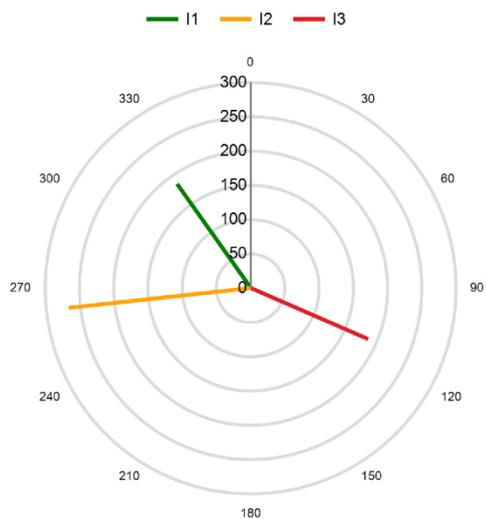


Anexo 31 Gráficos de corrientes por fases



Anexo 32 Esquemas fasoriales de tensión y corriente

Esquema fasorial de las corrientes

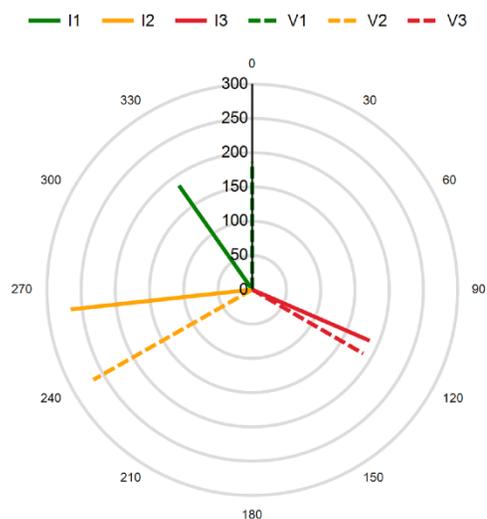


Hora del análisis: 15:07

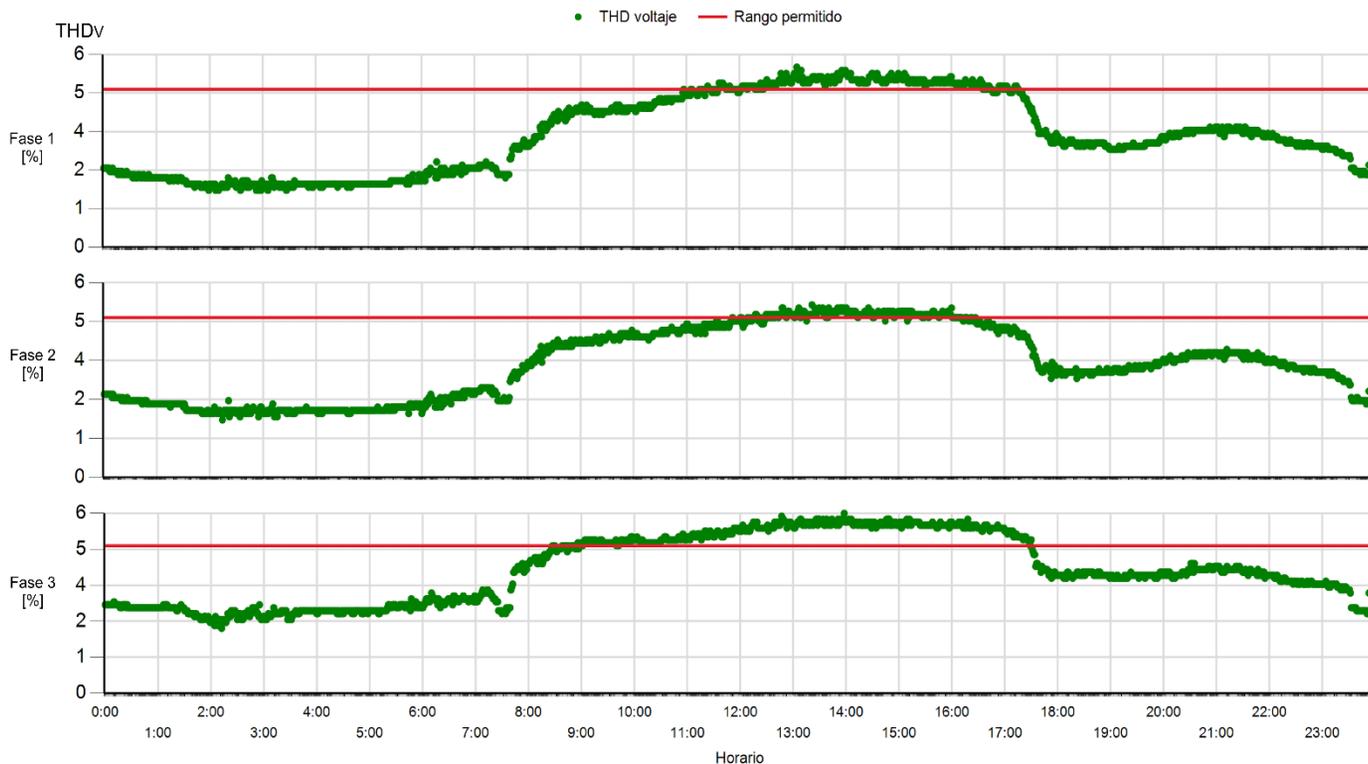
	Valor [A]	Ángulo [Grados]
I1	186	-35,2
I2	267	-96,1
I3	187	113,5

	Valor [V]	Ángulo [Grados]
V1	186	0,0
V2	267	-119,5
V3	187	119,8

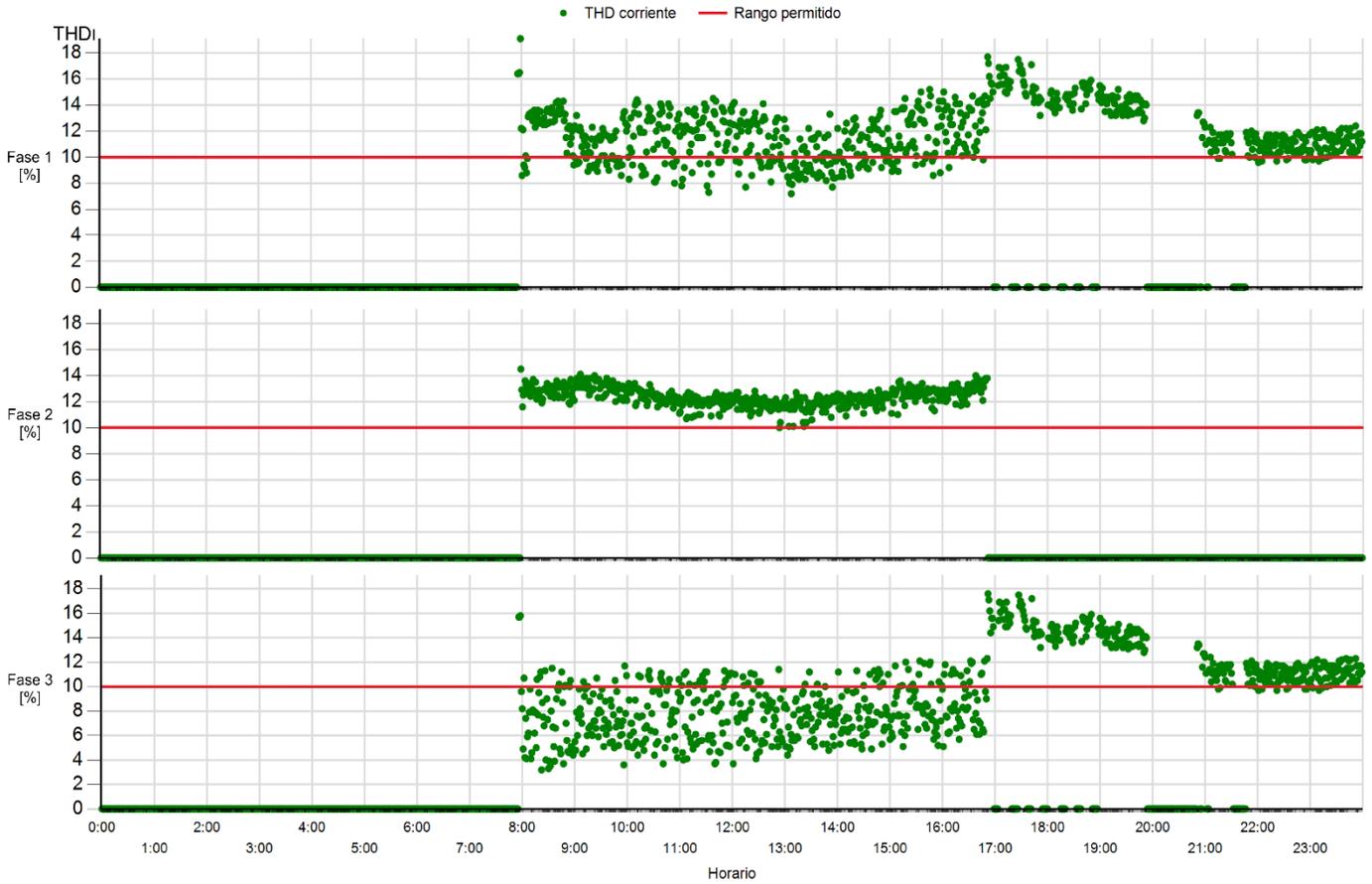
Esquema fasorial de las corrientes y las tensiones



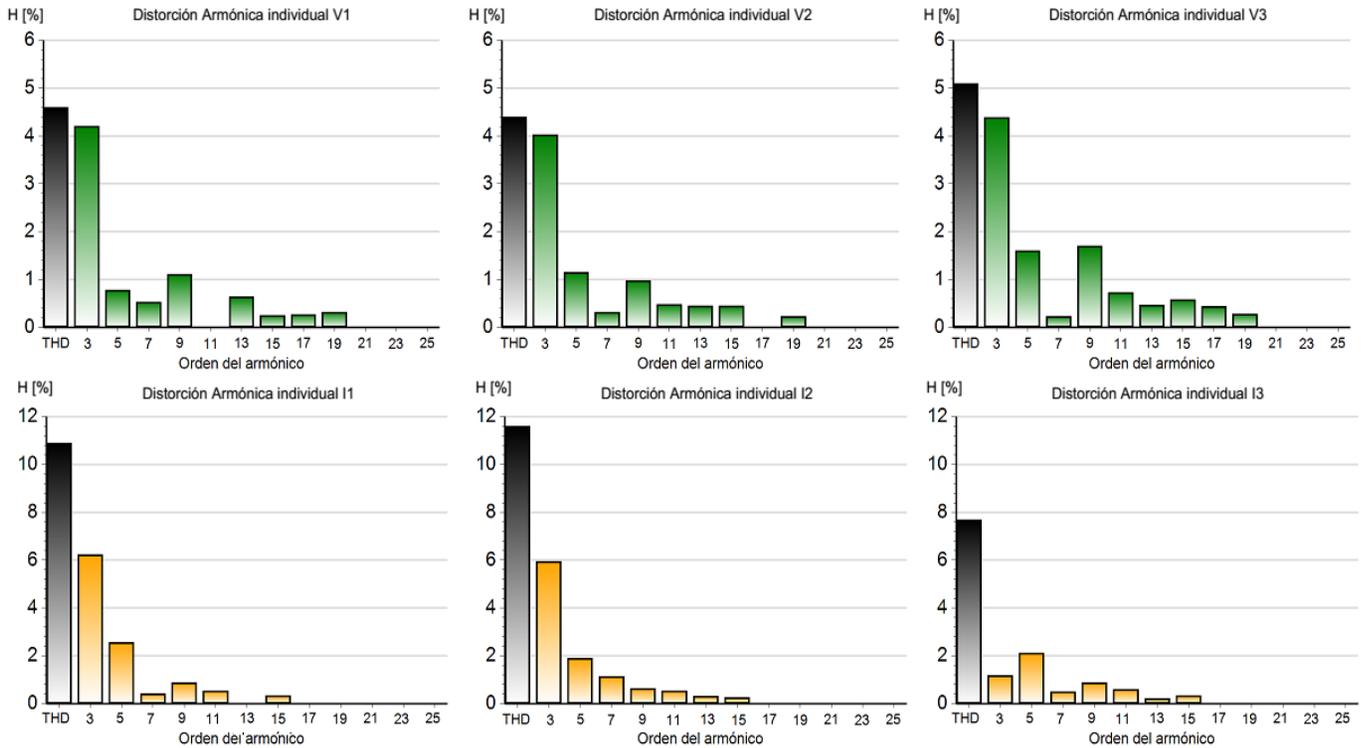
Anexo 33 Gráficos de distorsión armónica de tensión (THD_v)



Anexo 34 Gráficos de distorsión armónica de corriente (THD_i)



Anexo 35 Espectro de los Armónicos de tensión y corriente



Anexo 36 Cálculo de factibilidad económica

Costo de la inversión (K ₀), \$	\$10.050,00
Vida útil del equipo (años)	7,00
Flujo descontado acumulado inicial (\$)	-\$10.050,00

Datos iniciales							
Año	1	2	3	4	5	6	7
Ingresos (\$)	4.079,48	3.850,31	3.850,31	3.850,31	3.850,31	3.850,31	3.850,31
Gastos (\$)	400	400	1400	400	400	1400	400
Tasa de descuento (%)	9	9	9	9	9	9	9
Tasa de inflación (%)	13	13	13	13	13	13	13
Margen de riesgo (%)	2	2	2	2	2	2	2
Tasa de impuestos sobre la ganancia (%)	25	25	25	25	25	25	25
Resultados							
Depreciación (\$)	1.435,71	1.435,71	1.435,71	1.435,71	1.435,71	1.435,71	1.435,71
Flujo de caja (\$)	3.118,54	2.946,66	2.196,66	2.946,66	2.946,66	2.196,66	2.946,66
Tasa de descuento real	-0,0354	-0,0354	-0,0354	-0,0354	-0,0354	-0,0354	-0,0354
Tasa de descuento real con margen	-0,0154	-0,0154	-0,0154	-0,0154	-0,0154	-0,0154	-0,0154
Factor de descuento	1,0156	1,0315	1,0477	1,0640	1,0807	1,0976	1,1147
Flujo de caja descontado (\$)	3.167,31	3.039,55	2.301,34	3.135,36	3.184,40	2.411,01	3.284,78
Flujo descontado acumulado (\$)	-6.882,69	-3.843,14	-1.541,79	1.593,57	4.777,97	7.188,99	10.473,77

Período Simple de Recuperación (años)	2,46
Valor Presente Neto (\$)	\$10.473,77
Tasa Interna de Retorno (%)	16,09

Anexo 37 Gráfico de Valor Presente Neto vs tiempo

