



INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALURGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Facultad: Metalurgia – Electromecánica

Trabajo de Diploma

Para Optar por el Título de
Ingeniero Eléctrico

**Herramienta para predecir el
comportamiento de energía eléctrica en
residencias estudiantiles universitarias**

Autor: Carlos Luis Tenrero Parrado

**Tutores: Ing. Liomnis Osorio Laurencio
M.Sc. Reineris Montero Laurencio
Lic. Aliet Lamorú Reyes**

**Moa, 2013
“Año 55 de la Revolución”**

Pensamiento

“La vida es el constante empleo, el agradecimiento por el roce, el obstáculo, jamás la caída, a no ser victoriosa y gloriosa; la obra permanente, el ir; triunfo eterno, montaña arriba, roca adelante. La vida no tiene dolores para el que aprende a tiempo su sentido.”

José Martí

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar y con todo mi corazón a mis padres Ana María Parrado Escalona y Pedro Pérez Caneyes por el sacrificio y confianza depositada en mí para que pudiese llegar a lo que soy hoy, a mis abuelos Mireya Escalona y Norge Parrado a mis tíos y tías a mis hermanos Ernesto y Marcos y muy especialmente a mi bisabuela María Mulet Santos, a mí novia Mariela Romero Leyva , a los amigos que contribuyeron a que este sueño fuese realidad, y a todos aquellos que dejaron de existir y que llevo presente en cada paso de mi vida.

Agradezco a todos los compañeros de aula, por toda la ayuda que me brindaron, a mis compañeros de cuarto que como hermanos siempre me ayudaron en todo.

Agradezco a todos los profesores y de manera especial a mis tutores por sus conocimientos brindados para garantizar el éxito de este trabajo.

Agradezco a Dios por haberme permitido nacer en esta Revolución Socialista y a nuestro eterno Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz por darme la oportunidad de forjarme como persona culta y preparada en la especialidad de Ingeniería Eléctrica.

Muchas Gracias a todos.

Dedicatoria

Dedico este Trabajo de Diploma a toda mi familia, en especial a mis padres Ana María Parrado Escalona y Pedro Pérez Caneyes, a mis abuelos Mireya Escalona y Norge Parrado, a mis tíos y tías, a mis hermanos Ernesto y Marcos y a todas mis amistades y muy especialmente a mi bisabuela María Mulet Santos.

A todos gracias por existir...

Carlos Luis Tenrero Parrado...

Resumen

En la presente investigación se elabora una herramienta para predecir el comportamiento de la energía eléctrica en residencias estudiantiles universitarias. La herramienta contiene tres partes fundamentales. La primera está dedicada a la obtención de variables eléctricas y no eléctricas, compuesta por la instrumentación para la colección de los datos de consumo y una componente organizacional que recoge toda la información del suministro eléctrico del edificio así como la referente a su explotación. La segunda está dedicada a brindar un servicio en la red universitaria de un sistema de información en tiempo real con los datos obtenidos en la etapa anterior. La última sugiere la modelación del consumo de energía eléctrica diario del edificio.

En el cuerpo del trabajo se describen las particularidades de cada una de las partes y se resalta el empleo de las herramientas de la Tecnología de la Gestión Total Eficiente de la Energía.

El sistema propuesto permite relacionar las variables de explotación del edificio y el comportamiento de las variables eléctricas, facilitando la propuesta de indicadores energéticos. Se pudo determinar que para la residencia # 3, en su actual régimen de explotación, los días de la semana de mayor consumo están comprendidos entre el lunes y el miércoles. Los valores promedio oscilan entre 130 y 140 kWh, representando aproximadamente el 10% de la energía que se consume en el banco de transformadores de residencia.

Abstract

The current investigation introduces an evaluation tool for the electric power behavior at the student's university residences. It comprehends three essential parts. The first component is about obtaining electric and non-electric variables. This part comprehends the instrumentation that allows the gathering of the consumption data and an organizational factor that collects all the information about the structure's power supply and its exploitation as well. The second element provides for the university network a service that shows, as a real time information system, the data collected in the previous stage. The last part suggests the modeling of the building's daily power energy consumption.

The actual research informs about each part's particularities and the use of the tools provided for the Total Efficient Energy Management Technology.

The proposal allows relating the building's exploitation variables and electric variables behavior, making easier to propose energy indicators for this kind of constructions. In the current exploitation regime, it can be determined that, for the Residence #3, the greatest consumption days of the week lies between Monday to Wednesday. The average values fluctuate from 130 to 140 kWh, it represents around the 10% of the residence transformer's bank energy consumption.

Índice

Introducción	1
Problema.....	3
Objetivo.....	3
Objetivos específicos	3
Objeto de estudio	4
Campo de acción	4
Hipótesis	4
Tareas.....	4
Capítulo I Marco teórico	5
Introducción	5
1.1 Análisis bibliográfico.....	5
1.2 Aspectos teóricos de las variables eléctricas	7
1.2.1 Potencia activa	7
1.2.2 Potencia trifásica	8
1.2.3 Potencia reactiva	8
1.2.4 Corriente eléctrica	9
1.2.5 Tensión o Voltaje.....	9
1.3 Equipamiento tecnológico para realizar mediciones eléctricas	9
1.3.1 Transformadores de medición de corriente	9
1.3.2 Analizadores de redes.....	13
1.3.3 Amperímetro de gancho	14
1.3.4 Multímetro digital	14
1.4 Sistemas de supervisión de variables eléctricas en tiempo real	15
1.4.1 Sistemas SCADA	16
1.5 Indicadores de desempeño energético	18
1.5.1 Revisión de la Norma Cubana NC ISO 50001	20
1.6 Métodos para pronosticar el consumo de energía eléctrica.....	20
1.6.1 Método de tendencia histórica simple	21
1.6.2 Método de usuarios finales.....	21
1.6.3 Métodos paramétricos	23
1.6.3.1 Modelos de regresión lineal múltiple	23
1.6.3.2 Método de los Mínimos Cuadrados (MMC)	24
1.6.4 Método de pronóstico mediante series temporales	25
1.6.5 Pronóstico con el uso de la inteligencia artificial	25
1.6.6 Método híbrido.....	26
Capítulo II: Procesamiento de la información y obtención de indicadores.....	27
2.1 Descripción del edificio # 3 de la residencia estudiantil	27
2.2 Selección de las variables.....	30
2.3 Metodología empleada en las mediciones eléctricas	31
2.4 Metodología para el supervisar las variables no eléctricas	32
2.5 Instrumentación empleada.....	32

2.5.1 Transformador de corriente	32
2.5.2 Analizador de redes.....	33
2.5.3 Interface de comunicaciones serie RS-422/485 - Ethernet	33
2.6 Aplicaciones informáticas empleadas	36
2.6.1 Sistema de información en tiempo real vía web	42
2.7 Comportamiento de las variables eléctricas.....	43
2.7.1 Comportamiento de la corriente eléctrica durante los días laborables	43
2.7.1.1 Comportamientos de la corriente para un fin de semana	44
2.7.2 Comportamiento de la potencia activa durante los días laborables.....	45
2.7.2.1 Comportamiento de la potencia activa para un fin de semana	46
2.7.3 Comportamiento de voltaje.....	48
2.7.4 Comportamiento del consumo de energía.....	48
2.8 Influencia de las variables no eléctricas en el consumo de energía	49
2.8.1 Cantidad de estudiantes.....	49
2.8.2 Calidad del menú.....	50
2.8.3 Lugar de procedencia de los estudiantes	51
2.8.4 Cantidad de estudiantes que pasan al comedor	52
2.9 Determinación y análisis del indicador de consumo	52
2.10 Incidencia del consumo de energía del edificio #3 en el banco de transformadores.....	55
Capítulo III: Identificación del modelo de predicción.....	56
3.1 Selección del modelo de predicción.....	56
3.2 Formulación del modelo de regresión lineal múltiple	56
3.3 Normalización de las variables del modelo de regresión	57
3.3.1. Días de la semana.....	57
3.3.2 Mes del año	58
3.3.3 Menú del comedor	58
3.3.4 Cantidad de estudiantes por días	59
3.3.5 Consumo de energía eléctrica.....	60
3.4 Perfiles de consumo de energía eléctrica	60
3.4.1 Perfil diario	60
3.4.2 Perfil semanal.....	61
3.5 Modelos de predicción basados en una sola variable explicativa	61
3.5.1 Relación entre el consumo de energía eléctrica y cantidad de estudiantes ..	62
3.6 Herramienta de predicción del consumo de energía eléctrica	64
Conclusiones.....	66
Recomendaciones.....	67
Bibliografía.....	68
Anexos	71

Introducción

Actualmente el mundo se enfrenta ante el reto de combatir el cambio climático, al mismo tiempo que persigue el crecimiento económico y una distribución equitativa de la riqueza. De ahí, el papel fundamental que desempeña el sector energético en el desarrollo económico y social de un país. Por lo tanto, resulta fundamental cambiar la forma en que el país produce y consume la energía para así garantizar un futuro más sustentable.

La eficiencia energética es el camino hacia esa transición energética; es la solución que permite el uso racional de la energía a la vez que se mantienen los niveles de competitividad. Si bien es cierto que se pueden llevar a cabo un sinnúmero de acciones encaminadas a impulsar el uso eficiente de la energía, como por ejemplo migrar a sistemas de iluminación más eficientes, promover la sustitución de electrodomésticos ineficientes, instalar motores y bombas eléctricos de alto rendimiento en la industria, establecer códigos de construcción que fomenten un uso eficiente de la energía, expandir los sistemas de recuperación de calor industrial, etc.; es indispensable contar con la información adecuada que permita monitorear la evolución de dichas acciones [18].

En la actualidad uno de los principales problemas a los que se enfrentan cualquier país del mundo es al tema relacionado con el consumo de energía eléctrica y como hacer un uso eficiente de la misma. Por lo que se hace necesario realizar estudios que permitan determinar los factores que influyen directamente en el consumo de esta y como controlarlos, con el objetivo de obtener modelos de predicción y establecer medidas para hacer un uso más racional de este portador en un futuro. Cuba, un país actualmente bloqueado y afectado por una crisis económica mundial que ha traído como consecuencia la elevación de los precios de los combustibles fósiles (principal fuente de generación de energía eléctrica en este país) se ve obligada a hacer este tipo de estudio e implementar estrategias para lograr una mayor eficiencia energética.

Los factores que influyen en este proceso pueden variar considerablemente en dependencia de las condiciones que existan en los distintos tipos de instalaciones, ya sea en el sector de servicios o en el industrial, por lo que se debe de implementar estudios específicos en cada tipo de instalación para lograr una explotación más técnico-económica de las mismas.

Durante varios años hasta el curso 2012-2013, la demanda de los recursos energéticos realizada por el Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMM) al Ministerio de Educación Superior (MES) se basa en índices empíricos, tomando como partida los valores de la demanda en los cursos lectivos anteriores. Debido a que las experiencias en las que se fundamentan estos análisis no provienen de fuentes confiables de información, sino de records obtenidos y almacenados de forma no convencional, los estimados sobre la necesidad energética varían considerablemente. Además, no consideran las irregularidades y diferencias entre las distintas etapas, lo cual repercute negativamente en el análisis económico de la gestión energética del centro.

Como consecuencia del análisis crítico de este proceso de asignación de recursos, queda determinada la necesidad de realizar una asignación eficiente de recursos, teniendo en cuenta la demanda actual y el análisis correcto del consumo histórico de la institución. Actualmente dicho análisis no puede ser llevado a cabo porque, en primer lugar, no se cuenta con un registro confiable para identificar las demandas actuales y, además, no está establecido un sistema de planificación energética que defina la asignación de la energía disponible en las actividades priorizadas. Por otra parte, el sistema de control del consumo energético es primitivo y manual lo cual imposibilita que el procesamiento de los datos se realice a través de herramientas que contribuyan a la eficacia de la toma de decisiones; asimismo, la inexistencia de historiales y de una metodología adecuada hace imposible la aplicación de métodos de pronóstico del consumo de energía eléctrica en el ISMM.

Los portadores energéticos que se consumen en el ISMM están relacionados principalmente con la Electricidad, el Fuel Oil, el Diesel y la Gasolina. Como entidad

presupuestada el organismo central realiza una asignación de los diferentes portadores energéticos para cada año. Las instituciones deben de ajustar sus planes y la distribución para cada uno de los meses a partir de los niveles de actividad que se realizan [4].

El ISMM realiza de manera sistemática la planificación de las actividades a realizar en un período de tiempo determinado, repercutiendo esta planificación sobre los recursos energéticos asignados. En este proceso los administradores de las distintas áreas hacen peticiones basados en sus necesidades específicas. En la actualidad, debido a deficiencias organizativas, en el momento de realizarse dichas peticiones, ya ha sido asignado el presupuesto para gastos energéticos, el cual no siempre puede satisfacer todas las demandas. Esto trae consigo que algunas actividades importantes para el desenvolvimiento de la institución, deban ser replanteadas, realizadas con los recursos mínimos o simplemente no realizarse. Por ello, la institución sigue una estrategia de planificación que garantiza la ejecución de aquellas actividades reconocidas como una prioridad [4].

Problema científico

No se cuenta con una herramienta predictiva que permita un análisis multicriterial de los factores que inciden en el consumo de energía eléctrica en la residencia estudiantil universitaria.

Objetivo general

Implementar una herramienta que permita proponer indicadores energéticos y predecir el consumo de electricidad, representativo de las condiciones actuales de la residencia del ISMM.

Objetivos específicos

1. Implementar un sitio web con las mediciones eléctricas en tiempo real de la residencia estudiantil.

2. Determinar los indicadores energéticos representativos de la vida universitaria en referencia a la energía eléctrica en la residencia.
3. Obtener una herramienta que permita pronosticar el consumo de energía eléctrica.

Objeto de estudio

Edificio #3 de la residencia estudiantil del ISMM.

Campo de acción

Gestión energética en el edificio #3 de la residencia estudiantil del ISMM.

Hipótesis

Si se estudian los fenómenos inherentes al consumo de energía eléctrica en las residencias estudiantiles de las universidades del país mediante un caso de estudio, se podría contar con una herramienta que influya en la eficacia de la toma de decisiones de futuras actividades relacionadas con la energía eléctrica.

Tareas

1. Análisis bibliográfico sobre el estudio de gestión energética en la residencias.
2. Levantamiento de información referida a la explotación de los edificios que componen la residencia:
 - Censo de estudiantes.
 - Características físicas de los edificios.
 - Potencia instalada.
3. Mediciones de campo de las variables eléctricas en los edificios de la residencia estudiantil.
4. Procesamiento estadístico de los datos obtenidos en las mediciones.
5. Determinación de las relaciones entre las variables para obtener indicadores de consumo de energía eléctrica.
6. Determinar la herramienta matemática que permita un buen resultado de la predicción del consumo de energía eléctrica.

Capítulo I Marco teórico

Introducción

En este capítulo se describen los principales aspectos teóricos que sustentan la metodología que se emplea en el capítulo dos. Se realiza un análisis bibliográfico de los trabajos precedentes relacionados con este objeto de estudio, se describen las características de algunos de los instrumentos que pueden ser empleados para realizar mediciones en este tipo de instalaciones, se dan a conocer algunas definiciones generales de algunos de los parámetros que miden estos equipos. También aparecen los indicadores de desempeño energético y el uso de estos y de los índices de consumo de energía en universidades. Se hace referencia a los modelos de predicción de consumo de energía y a los métodos empleados para obtener estos modelos, dando a conocer sus ventajas y desventajas.

1.1 Análisis bibliográfico

Para la realización de este trabajo se partió desde el análisis de los resultados obtenidos de trabajos anteriores relacionados con este tema fuera y dentro del ISMM, con el objetivo de conocer cuánto se había avanzado en el tema así como tener una idea exacta de los logros alcanzados en estos temas de investigación en otras áreas.

(Pacheco, 2008). En este trabajo se realiza un levantamiento de la potencia instalada por área. Se actualizan los planos eléctricos de las áreas y el esquema monolineal del sistema. Se evalúa el comportamiento del consumo de energía, las corrientes, potencias y tensiones en el punto principal de suministro del área docente, para diferentes escalas de tiempo (horario, diario, mensual, anual). Se establece el balance de potencias para el área docente. Aquí se obtienen buenos resultados pero no se aborda lo necesario en lo que se refiere al ahorro de energía.

(Prieto, 2008). En este trabajo se realiza un análisis exhaustivo sobre todas las áreas de la zona residencial del ISMM. Se obtienen buenos resultados y conocimiento de todo el sistema, se hace un levantamiento de la potencia instalada por área, se

actualiza el esquema monolineal del sistema, se evalúa el comportamiento del consumo de energía, las corrientes, potencias y tensiones en el punto principal de suministro del área de residencia estudiantil, para diferentes escalas de tiempo (horario, diario, mensual, anual), se establece el balance de potencias para el área de residencia estudiantil. Sin embargo, no se aborda lo suficiente en lo que respecta al ahorro de energía y a la propuesta de una nueva instalación del cableado ya que esta se encuentra en muy malas condiciones.

(Pérez y Torres, 2006). En este trabajo se realiza un análisis para evaluar el sistema de gestión energética del ISMM y definir los indicadores de consumos de energía eléctrica y agua por actividad, en esta investigación se obtienen buenos resultados como es la determinación de las pérdidas anuales de energía para el banco de transformadores del área docente, se proponen cambios e instalaciones de protecciones en las pizarras, además de establecer el control de la carga instalada en función de la capacidad de los bancos de transformadores. A pesar de los resultados obtenidos en esta investigación, no se realiza un análisis profundo en lo que respecta al funcionamiento del banco de transformadores del área docente en particular y no se detectan los principales problemas existentes en los paneles y en las redes, solo se toma una muestra de mediciones correspondientes a un periodo de 24 horas y no se aborda lo necesario en lo referido al ahorro del consumo de energía.

(González, 2009). En este trabajo se evalúa el comportamiento de las potencias y del consumo de energía eléctrica de cada área de residencia. Se determina la potencia instalada en el área de la residencia, además de analizar el comportamiento de las corrientes y tensiones por edificios y en general. Se determina el esquema monolineal del sistema, se plantea un grupo de medidas con vista a garantizar una explotación más racional del sistema eléctrico del área de la residencia, con el ahorro energético. Se define la valoración económica de la propuesta de cambio en todas las cuchillas del panel general del área residencia y de los paneles principales de cada edificio, por dispositivos de protección automáticos (breaker). A pesar de los resultados y de las

medidas de ahorro propuestas en este trabajo no se profundiza lo necesario en cuanto al tema relacionado con el ahorro energético y la gestión energética.

A pesar de los estudios que se realizaron en estos trabajos de diploma, que en general abarcan casi todos lo relacionado con el consumo de energía y propuestas de mejoras para un uso más racional de la misma; no se propone en ninguno de estos una herramienta que permita la predicción del consumo de energía en un futuro para la residencia, con vista a mejorar el sistema de gestión energética del ISMM.

1.2 Aspectos teóricos de las variables eléctricas

En los epígrafes siguientes se hace una caracterización de las principales variables eléctricas que se consideraron para este estudio, incluyendo las definiciones generales y su formulación.

1.2.1 Potencia activa

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la que en realidad consumen los circuitos, y en consecuencia, cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

Se designa con la letra P y se mide en vatios -watt- (W) o kilovatios -kilowatt- (kW.). De acuerdo con su expresión, la ley de Ohm y el triángulo de impedancias:

$$P = I \cdot V \cdot \cos \phi = I \cdot Z \cdot I \cos \phi = I^2 \cdot Z \cdot \cos \phi = I^2 \cdot R \quad (1.1)$$

Donde:

R: Resistencia de circuito (Ω)

I: Intensidad de la corriente eléctrica (A)

Resultado que indica que la potencia activa es debido a los elementos resistivos.

1.2.2 Potencia trifásica

La representación matemática de la potencia activa en un sistema trifásico equilibrado (las tres tensiones de fase tienen idéntico valor y las tres intensidades de fase también coinciden) está dada por la ecuación:

$$P_3\phi = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos \phi \quad (1.2)$$

Siendo I la intensidad de línea y V la tensión de línea (no deben ser empleados para esta ecuación los valores de fase). Para reactiva y aparente:

$$Q_3\phi = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \text{sen} \phi \quad (1.3)$$

$$S_3\phi = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \quad (1.4)$$

1.2.3 Potencia reactiva

Esta potencia no tiene tampoco el carácter realmente de ser consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo necesario. Por ello que se dice que es una potencia desvaviada (no produce vatios), se mide en voltamperios reactivos (Var.) y se designa con la letra Q.

A partir de su expresión,

$$Q = I \cdot V \text{sen} \phi = I \cdot Z \cdot I \cdot \text{sen} \phi = I^2 \cdot Z \cdot \text{sen} \phi = I^2 \cdot X = I^2 \cdot (X_L - X_C) = S \cdot \text{sen} \phi \quad (1.5)$$

Donde:

Z: Impedancia del circuito.

X_L : reactancia inductiva.

X_C : Reactancia capacitiva.

Lo que reafirma que esta potencia se debe únicamente a los elementos reactivos. La potencia reactiva en cargas inductivas (motores de inducción, generadores de corriente alterna, transformadores, etc.), es la energía que se necesita para magnetizar el núcleo ferromagnético de dichas cargas.

1.2.4 Corriente eléctrica

La corriente o intensidad eléctrica es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe al movimiento de los electrones en el interior del material. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C/s (culombios sobre segundo), unidad que se denomina amperio.

Según la ley de Ohm, la intensidad de la corriente es igual al voltaje dividido por la resistencia que oponen los cuerpos:

$$I = \frac{V}{R} \tag{1.6}$$

1.2.5 Tensión o Voltaje

La tensión eléctrica o diferencia de potencial (en algunos países también se denomina voltaje) es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. También se puede definir como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas [2].

$$V = I \cdot R \tag{1.7}$$

1.3 Equipamiento tecnológico para realizar mediciones eléctricas

Se explican las variantes tecnológicas más empleadas para realizar mediciones en edificios residenciales. Se debe contar con una data histórica que permite su posterior procesamiento para obtener información valiosa a la hora de realizar una predicción.

1.3.1 Transformadores de medición de corriente

Los transformadores de medición de corriente (TC) se emplean en circuitos de corriente alterna con el objetivo de convertir las corrientes grandes en pequeñas, que puedan ser medidas por los instrumentos donde el campo de medición es relativamente pequeño (5 A). Cuando se emplean transformadores de medición no

existe unión galvánica entre el circuito y el instrumento, esto permite conectar al instrumento en circuitos aterrados de baja tensión, y, por tanto, aumentar la seguridad del personal que trabaja con los instrumentos, así como simplificar la construcción de los mismos.

En los transformadores de corriente, como regla, la corriente del primario I_1 es mayor que la del secundario I_2 por eso en ellos se cumple que $N_1 < N_2$. Las bobinas de los transformadores se construyen con alambres cuya sección depende del valor de las corrientes nominales que circulan por el primario I_{1N} y por el secundario I_{2N} . Como los primarios de los transformadores de corriente se fabrican para diferentes corrientes y en algunos casos para corrientes mayores que 500 A, también pueden constar de una sola vuelta en forma de cinta recta de cobre a través de la ventana del núcleo. En los transformadores normalizados la corriente del secundario y, la sección del alambre de la bobina del secundario, es constante.

El valor de la corriente nominal del secundario puede ser: 1; 2; 2,5; y 5 A. Para cualquier valor de la corriente en el primario entre 1 – 40 000 A.

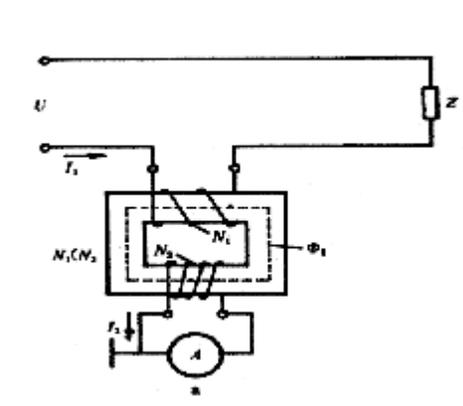


Fig.1.1 Esquema de conexión de los transformadores de medición de corriente.

Para el TC el coeficiente de transformación real (K_1) está dado por:

$$K_I = \frac{I_1}{I_2} \quad (1.8)$$

La expresión anterior muestra que si se conoce la indicación del amperímetro (I_2) se puede calcular el valor de la corriente medida (I_1) empleando la siguiente fórmula:

$$I_1 = K_1 \cdot I_2 \quad (1.9)$$

El coeficiente K_1 no es constante, sino que su valor depende del régimen de trabajo del transformador, es decir, de la corriente, del carácter y el valor de la carga del secundario, de la frecuencia de la corriente y, además, de la tecnología y la calidad de los materiales empleados en la construcción de un determinado transformador.

Generalmente para determinar el valor de la magnitud que se mide, no se emplea el coeficiente real de transformación del transformador; sino el nominal, el que siempre se indica en la chapa de forma de quebrado, siendo el numerador el valor nominal de la magnitud del primario y el denominador la del secundario. El coeficiente nominal de transformación de un determinado transformador es siempre constante.

Para los TC el coeficiente nominal de transformación se representa por I_{IN} y para los Como el coeficientes real y nominal de transformación no son iguales, al determinar el valor de la magnitud que se mide sobre la base del coeficiente nominal de transformación se introduce un error, cuyo valor relativo se determina por medio de:

$$f_I = \frac{I_1' - I_1}{I_1} 100; \quad \text{para los transformadores de corriente} \quad (1.10)$$

Donde:

$$I_1 = K_{IN} \cdot I_2 \quad (1.11)$$

$$I_1 = K_1 \cdot I_2 \quad (1.12)$$

Si se sustituyen las ecuaciones (1.11) y (1.12) en la ecuación (1.10) se obtiene:

$$f_I = \frac{K_{IN} - K_I}{K_I} 100 \quad (1.13)$$

Los errores estudiados son los llamados errores de relación, siendo f_I el de corriente. Además de estos errores los transformadores de medición tienen otro error al que se le llama error angular, el cual se produce porque el transformador no transfiere la fase de la magnitud del primario a la del secundario. Este error influye solamente sobre la indicación de los instrumentos, en los cuales la desviación de la parte móvil depende del ángulo entre la corriente y la tensión. Entre estos instrumentos se tienen los watímetros, los contadores de energía y los fasímetros.

En los transformadores ideales se cumple que el vector de la tensión del secundario U_2 está desfasado 180° en relación con el vector de la tensión en el primario U_1 ; por tanto, si se desfasa el vector del secundario U_2 en 180° el ángulo formado por el vector desfasado $-U_2$ y U_1 es 0° . Esto se cumple en los transformadores ideales de corriente. En los reales el ángulo entre el vector de la magnitud del secundario desfasado en 180° ($-U_2, -I_2$), está adelantado con respecto al vector de la magnitud del primario.

Los transformadores de corriente y tensión se diferencian entre sí por la forma en que se conecta el primario de ambos al circuito donde se realiza la medición, el primario de los TC se conectan en serie y el de los TT en paralelo, también se diferencian por las condiciones de trabajo [11].



Fig. 1.2 Transformadores de corriente.

1.3.2 Analizadores de redes

Los analizadores de redes son equipos que pueden mostrar valores tales como: tendencias en tensión, intensidad, potencias activa, reactiva y aparente y factor de potencia para las tres fases y el neutro.

Estos registradores son un sistema analizador trifásico de tensiones y corrientes, capaz de medir el contenido armónico y demás parámetros RMS de cada una de las fases, empleando un complejo algoritmo matemático. Estos equipos pueden averiguar porcentualmente el contenido de armónicos y la distorsión armónica total en cada fase de tensión y corriente. Las mayorías de las medidas pueden ser leídas en el campo en el display del aparato, mientras que los datos registrados se podrán volcar en un PC vía puerto serial RS232 o mediante la tarjeta de memoria PCMCIA. El interfaz para tarjeta de memoria aporta también los medios para programar y actualizar el sistema operativo de estos equipos. Estos aparatos se alimenta de la línea en todo su rango de medida y la batería recargable mantiene la información registrada en el caso de fallo de tensión.



Fig. 1.3 Analizadores de Redes.

1.3.3 Amperímetro de gancho

Los amperímetros miden la cantidad de corriente existente en una instalación. Al igual que los demás aparatos para mediciones eléctricas vistos anteriormente, los amperímetros pueden ser analógicos o digitales. Además de la clasificación anterior, los amperímetros pueden ser fijos o portátiles, también los hay del tipo tenaza (amperímetros de gancho). A nivel de consumidores residenciales y/o comerciales no es muy común adquirir amperímetros, los cuales lógicamente medirían solo la corriente eléctrica, más vienen este nivel se utilizan los denominados multímetros. Para el caso de las instalaciones industriales es conveniente tenerlos, ya sean analógicos o digitales, fijos o portátiles de gancho [16].



Fig. 1.4 Amperímetro de gancho digital.

1.3.4 Multímetro digital

En la figura 1.5 se muestra un multímetro, que también puede ser llamado polímetro o tester, es un instrumento que ofrece la posibilidad de medir distintas magnitudes en el mismo aparato. Las más comunes son las de voltímetro, amperímetro y óhmetro.

Es utilizado frecuentemente por el personal técnico en toda la gama de electrónica y electricidad. Existen distintos modelos que incorporan además de las tres funciones básicas antes citadas otras mediciones importantes, tales como medida de inductancias y capacitancias; comprobador de diodos y transistores; o escalas y zócalos para la medida de temperatura mediante termopares normalizados [16].

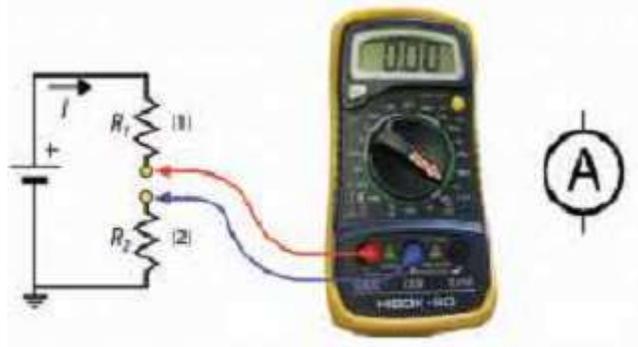


Fig. 1.5 Multímetro digital.

1.4 Sistemas de supervisión de variables eléctricas en tiempo real

La naturaleza de la operación en tiempo real de los sistemas de supervisión y control requiere que las mediciones de variables eléctricas se hagan con exactitud, en forma confiable y que se transmitan en tiempo real. Los equipos de medición de variables eléctricas deben cumplir con ciertos requerimientos, tales como [23]:

1. **Exactitud en la medición.** Equipos con un grado de confiabilidad y exactitud del orden de 0.01%.
2. **Interoperabilidad.** Se requiere el intercambio de información entre diferentes sistemas.
3. **Multifuncionalidad.** Deben tener la capacidad de medir múltiples variables eléctricas.
4. **Capacidad de almacenamiento.** Históricos de datos por meses y años.

5. **Interconectividad.** Acceso a redes de comunicaciones para el enlace con concentradores de datos o centros de control, utilizando protocolos abiertos y normalizados.
6. **Capacidad de procesamiento.** Alto grado de procesamiento de datos para realizar graficación, autodiagnósticos, autoajustes, autocalibración y administración remota del equipo vía red.

1.4.1 Sistemas SCADA

SCADA, acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores) y controlando el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención.

Los datos obtenidos por hardware industriales tales como PLC, PC y HMI, son transportados a través de un bus o varios buses a un servidor (server), que es el supervisor, el que controla, mediante el mencionado SCADA. En varias aplicaciones de este tipo se realiza el envío de datos a través de Ethernet.

El servidor, a su tiempo, manda los datos a una base con la finalidad de almacenar la información (para trabajar con ella, crear históricos de errores o alarmas...). Esta base de datos puede estar integrada dentro del disco duro del propio servidor. También es posible que el servidor mande la información a otro PC, PDA, Telf, Internet, es decir, transmita la información a otros sistemas operativos, en los cuales los clientes, accionistas, jefes y supervisores pueden acceder a la información.

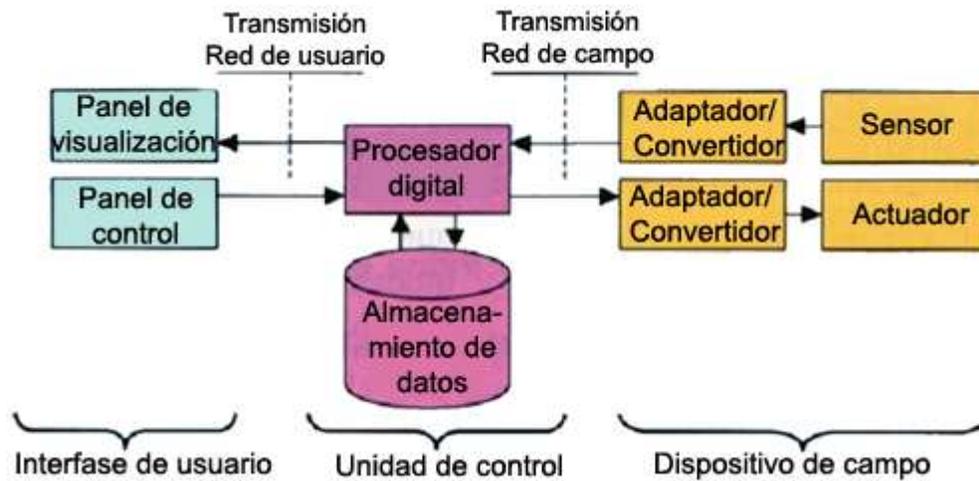


Fig. 1.6 Esquema básico de un sistema SCADA.

Algunos ejemplos de software SCADA más usados en el entorno empresarial cubano son:

1. Citec, de Schneider Electric.
2. EROS, de SERCONI.
3. WinCC, de Siemens.

Un SCADA está formado fundamentalmente por:

1. Ordenador Central o MTU (master terminal unit).
2. Ordenadores Remotos o RTU (remote terminal unit).
3. Red de comunicación.
4. Instrumentación de campo.

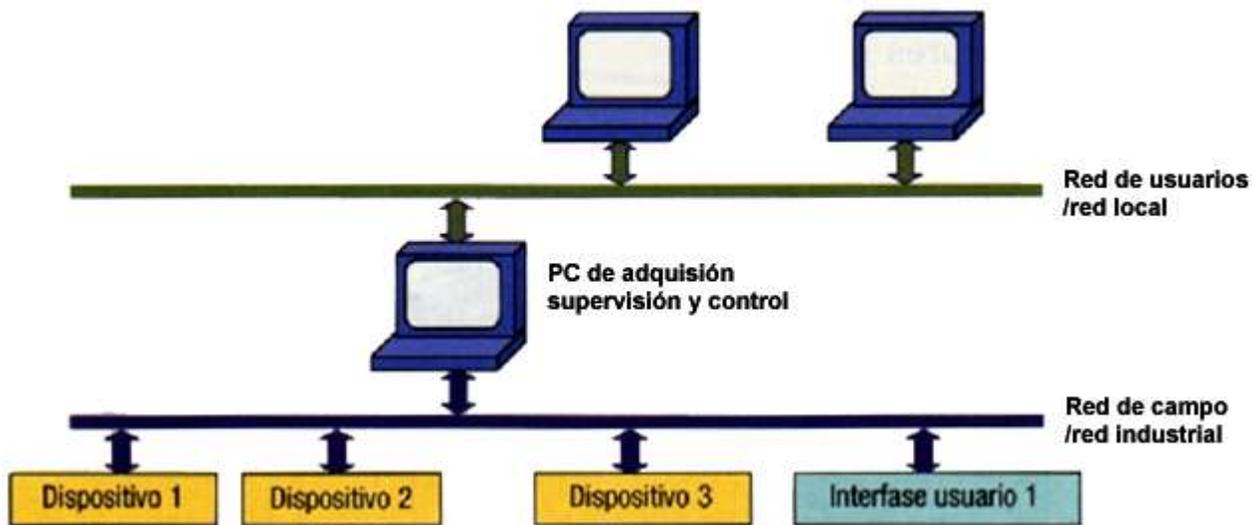


Fig.1.7 Componentes del hardware de un SCADA.

1.5 Indicadores de desempeño energético

Para el desarrollo de herramientas, acciones y la toma de decisiones informada es necesario conocer los factores que determinan el consumo final de energía y su sustentabilidad económica. También se impone la construcción de una línea de tendencia de dicho consumo a partir de información adecuada, oportuna y de calidad. Los indicadores energéticos son una herramienta útil para ello, ya que describen de forma detallada cómo ciertos factores determinan o impulsan el uso de la energía. Igualmente permiten conocer las áreas potenciales de mejora en la eficiencia económica y el alcance en el ahorro de energía, además de proporcionar información desde una perspectiva social como la equidad en el acceso y distribución a los recursos energéticos.

Para evaluar los cambios en la eficiencia energética se utilizan indicadores de tres tipos fundamentales:

1. Índice de consumo

- Energía consumida/Producción realizada
- Energía consumida/Servicio prestado

- Energía consumida/Área construida

2. Índice de eficiencia

- Energía teórica/Energía real
- Energía producida/Energía consumida

3. Índice económico – energético

- Gasto energético/Gasto totales
- Gasto energético/Ingreso (ventas)
- Energía total consumida/Valor de la producción total realizada (Intimidad energética)

El índice de consumo o consumo específico de energía se define como la cantidad de energía por unidad de producción o servicio. Medidos en términos físicos (producto o servicio prestado). Relaciona la energía consumida (kWh, litros de combustible, toneladas de Fuel Oil, toneladas equivalentes de petróleo) con indicadores de la actividad expresados en unidades físicas (toneladas de acero producidas Hectolitros de cerveza producidos, habitaciones días ocupadas, toneladas kilómetros transportadas, m²–año de edificios climatizados).

La intensidad energética aunque se emplea con determinadas limitaciones a nivel de empresa se utiliza fundamentalmente para dar seguimiento a los cambios de la eficiencia con que los países o ramas de la economía usan la energía. Se define como la relación entre el consumo de energía en unidades tale como: Tcal, TJ o toneladas equivalentes de petróleo (TEP) e indicadores de actividad económica normalmente el producto interno bruto (PIB) o el valor agregado (VA) de la rama de la actividad. Para una empresa la intensidad energética seria la relación entre el consumo total de energía primaria y la producción mercantil expresada en valores.

Un monitoreo y control energético efectivo en una empresa o entidad de servicio, requiere de la utilización de un conjunto de indicadores de los tres tipos y no solo a nivel

de empresa, sino estratificados hasta el nivel de las áreas y equipos mayores consumidores [11].

1.5.1 Revisión de la Norma Cubana NC ISO 50001

El Indicador de Desempeño Energético (IDEn) es un valor cuantitativo o medida del desempeño energético tal como lo defina la organización. Los IDEns pueden expresarse como una simple medición, un cociente o un modelo más complejo.

La Norma Cubana NC ISO 50001 del 2011 establece en la sección 4.4.5 que la organización debe identificar los indicadores de desempeño energético apropiados para realizar el seguimiento y la medición de su desempeño energético. La metodología para determinar y actualizar los IDEns debe documentarse y revisarse regularmente. Los IDEns deben revisarse y compararse con la línea de base energética de forma apropiada [10].

La Norma Cubana NC ISO 50001 del 2011 establece en la sección A.4.5 que los IDEns pueden ser un simple parámetro, un simple cociente o un modelo complejo. Ejemplos de IDEns pueden incluir consumo de energía por unidad de tiempo, consumo de energía por unidad de producción y modelos multi-variables. La organización puede elegir los IDEns que informen del desempeño energético de su operación y puede actualizar los IDEns cuando se produzcan cambios en las actividades del negocio o en las líneas de base que afecten a la pertinencia del IDEn, según sea aplicable [10].

1.6 Métodos para pronosticar el consumo de energía eléctrica

En el marco más reducido de una institución, el conocimiento previo de los consumos futuros de energía eléctrica se convierte en una herramienta fundamental para la ejecución planificada del control que deben ejercer los sistemas de gestión de energía. Al conocer cuánto se va a consumir y cómo será el comportamiento de las principales variables que inciden en el consumo de energía eléctrica (explotación del servicio, la temperatura ambiente, etc.), se crean las condiciones necesarias para prever el cambio de los indicadores de consumo, lo que posibilita la toma de decisiones adecuadas

dentro del marco de un sistema de gestión de consumo de energía eléctrica. A la predicción del consumo de energía eléctrica, así como de la demanda de energía, siempre se le ha prestado especial importancia. Sin embargo, hasta la crisis energética de 1973 el método más generalizado era el de tendencia anual. Al surgir las crisis con la disponibilidad del combustible, lo que trajo consigo la brusca subida de los precios, se comenzaron a utilizar métodos más complejos, tendencia que aumentó con la aparición masiva de las computadoras y software especializados. Los métodos utilizados para la predicción del consumo de energía eléctrica son [15]:

1. Método de la tendencia histórica simple.
2. Método de Usuarios Finales.
3. Método de Series Temporales.
4. Métodos paramétricos.
5. Métodos con aplicación de la inteligencia artificial.
6. Métodos híbridos.

1.6.1 Método de tendencia histórica simple

Se basa en conocer el comportamiento histórico del consumo de energía eléctrica, organizado en datos mensuales, anuales o cursos. Previamente se realiza un análisis de los datos para corregir factores eventuales que no son característicos y posteriormente se determina la tendencia lineal o logarítmica.

La desventaja principal del método de la tendencia histórica simple radica en su carácter de promedio, por lo que no informa sobre los cambios mensuales y estacionales de los datos, pero al integrarse (sumarse) los datos pronosticados para cada mes de un año, se obtiene el valor del consumo futuro.

1.6.2 Método de usuarios finales

Es un método determinista, que se apoya en las ecuaciones clásicas de la energía eléctrica. Al conocer el tipo de equipamiento, su potencia eléctrica activa, así como el

carácter de su uso (tiempo de uso promedio diario, mensual, anual), es factible calcular el consumo de energía eléctrica futuro.

$$MWh = Ne_1 \cdot Pe_1 \cdot Te_2 + Ne_2 \cdot Pe_2 \cdot Te_2 + \dots + Ne_n \cdot Pe_n \cdot Tn_n \quad (1.14)$$

Donde:

Pe_n : Potencia activa de un tipo de equipo o determinada familia de equipo.

Ejemplo: Aires acondicionados de la misma potencia, computadoras de oficinas, computadoras de laboratorios, bombas de agua, etc.

Ne_n : Número de equipos del tipo n.

Tn_n : Tiempo de uso anual del tipo de equipo n.

Debido a que el consumo también depende del momento de puesta en funcionamiento del equipamiento, la ecuación toma la forma siguiente:

$$MWh = Ne_1 \cdot Pe_1 \cdot Te_2 \cdot Kt_1 + Ne_2 \cdot Pe_2 \cdot Te_2 \cdot Kt_2 + \dots + Ne_n \cdot Pe_n \cdot Tn_n \cdot Kt_n \quad (1.15)$$

Donde:

$Kt = Nm / 12$: coeficiente de puesta en funcionamiento del equipo.

Nm: Total de meses que funcionará el nuevo equipamiento el próximo año y que depende de la fecha de montaje o puesta en funcionamiento de 12 meses del año. En los centros industriales existen familias de equipamiento que varían poco en número con el tiempo y otros que son los que más inciden en la variación del consumo, lo que se conoce analizando los datos históricos y realizando correlaciones simples, lo que permite obtener la ecuación:

$$MWh = K + \sum Ne_1 \cdot Pe_1 \cdot Te_2 \cdot Kt_1 + Ne_2 \cdot Pe_2 \cdot Te_2 \cdot Kt_2 + \dots + Ne_n \cdot Pe_n \cdot Tn_n \cdot Kt_n \quad (1.16)$$

Donde:

K: Consumo del equipamiento que varía poco o no varía con el tiempo.

El método de usuarios finales es fácilmente aplicable, sobre todo con el uso de hojas de cálculo. Sin embargo, su principal desventaja consiste en que, por disímiles causas, no siempre se conoce la cantidad, el número y la fecha de adquisición, por lo que su aplicación se dificulta.

1.6.3 Métodos paramétricos

Los métodos paramétricos se apoyan en las relaciones estadísticas entre variables que permiten determinar una ecuación (o ecuaciones) entre un parámetro (variable dependiente) y un grupo de parámetros (variables independientes) que explican su variación y que previamente han sido sometidas a análisis estadísticos (varianza, dispersión, correlación) que justifican su elección.

La herramienta fundamental para la aplicación del método paramétrico es la regresión múltiple, disponible en todos los programas estadísticos y que ya aparece en las últimas versiones de Excel.

1.6.3.1 Modelos de regresión lineal múltiple

La regresión lineal múltiple se expresa mediante el siguiente modelo:

$$y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_k X_k + \xi \quad (1.17)$$

Donde y es una variable que depende linealmente de otras X_i variables independientes o explicativas. Las constantes A_i son los coeficientes del modelo y se deben estimar. El valor ξ representa un componente aleatorio de la variable dependiente en el modelo [22]. En todos los casos, $i = \overline{1, k}$.

Los coeficientes A_i se deben estimar, y este proceso debe garantizar que se minimicen las distancias existentes desde los puntos que representan las observaciones hasta la recta de regresión encontrada, ver figura 1.6.

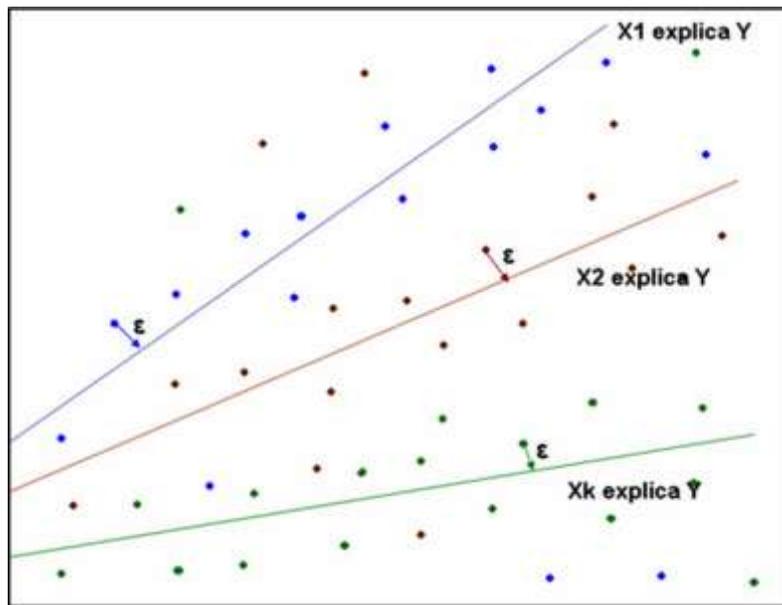


Fig. 1.8 Diagrama de dispersión con regresiones parciales para modelo multivariante.

1.6.3.2 Método de los Mínimos Cuadrados (MMC)

Este método se utiliza para estimar los coeficientes A_i , de manera que se minimiza a la misma vez la suma de los cuadrados del error (SCE). La siguiente expresión muestra la formulación matemática de este enunciado:

$$SCE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \tag{1.18}$$

Al utilizar el MMC, se busca un modelo de la forma:

$$\hat{y} = \hat{A}_0 + \hat{A}_1 X_1 + \hat{A}_2 X_2 + \dots + \hat{A}_k X_k \tag{1.19}$$

Donde los \hat{A}_i son los estimadores de los coeficientes originales, en el modelo anterior no se muestran los errores porque ya se han minimizado. El modelo resultante es la recta de regresión que mejor explica la tendencia de la relación entre todas las variables.

Al aplicar derivadas parciales a SCE y \hat{A}_i , y luego igualando a cero, se obtiene un sistema de ecuaciones normales cuyas soluciones son los valores de los estimadores de los coeficientes del modelo de regresión múltiple [22].

1.6.4 Método de pronóstico mediante series temporales

En los últimos años se utilizan ampliamente las herramientas de pronóstico de series temporales, utilizando los métodos de Box-Jenkins (ARIMA), debido a la facilidad relativa que ofrecen para encontrar modelos, aun en los casos cuando la serie temporal no sea estacionaria y presente estacionalidad y ciclos.

Ventajas

- Las series temporales llevan implícito en sus datos las regularidades y las irregularidades de la variable a lo largo del tiempo. Es un método moderno que se apoya en numerosos programas de fácil adquisición.
- Se desarrolla continuamente ya que tiene aplicación universal. A pesar de que requiere conocimientos estadísticos, está al alcance de la mayoría de los profesionales. Los programas especializados entregan los resultados con análisis estadísticos incluidos y con resultados gráficos de gran información.

Desventajas

- El hecho de predecir el futuro en función del pasado implica el riesgo de error si se producen cambios estructurales significativos.
- El proceso de modelación es extenso.

1.6.5 Pronóstico con el uso de la inteligencia artificial

Desde mediados de los años 80, apoyado en el surgimiento masivo de los modernos medios de cómputo, se extendió el uso de la inteligencia artificial para encontrar solución a problemas que hasta ese momento solo se enfocaban con métodos deterministas o estadísticos. La inteligencia artificial, y concretamente las redes neuronales, tienen la capacidad de determinar patrones de comportamiento cuando son sometidas a un entrenamiento adecuado, aun cuando la relación entre las variables de entrenamiento no sea lineal.

Cuando a una red neuronal, a la que se le ha determinado su estructura en cuanto al número de neuronas en la capa de entrada, en la capa intermedia y en la de salida, y

se ha escogido el algoritmo de entrenamiento, se le introducen datos de entrada y de salida conocidos, se le está realizando el denominado entrenamiento supervisado.

1.6.6 Método híbrido

El método híbrido consiste en combinar los resultados de análisis con ARIMA y redes neuronales con el método de usuarios finales. De esta forma se conjugan las ventajas de ambos métodos cuando se producen cambios de las variables superiores a la dinámica interna de la serie temporal.

Capítulo II: Procesamiento de la información y obtención de indicadores

Introducción

En este capítulo se analizan los métodos y materiales que se utilizan para la realización del trabajo. Se describen las características físicas y eléctricas del edificio #3 de la residencia estudiantil del ISMM, se seleccionan las variables eléctricas y no eléctricas con las que se va a trabajar. Se describe la metodología que se usó para realizar las mediciones y se selecciona la instrumentación que se va a emplear para realizar estas mediciones así como los programas empleados para el procesamiento de la misma. Se hace un análisis del comportamiento de las variables eléctricas y no eléctricas, se determina el indicador de índice de consumo y se determina el % que representa el consumo de energía eléctrica del edificio #3 de la residencia del ISMM con respecto al banco de transformadores de residencia y al instituto en general.

Para realizar este estudio, se seleccionó el edificio #3 de la residencia estudiantil del ISMM, debido a que este edificio es uno de los que más energía eléctrica consume. Tampoco se contaban con transformadores de corriente con una relación de transformación lo suficientemente grande como para medir directamente en el nodo principal del banco de transformadores de residencia estudiantil.

2.1 Descripción del edificio # 3 de la residencia estudiantil

En este epígrafe se hace una descripción del edificio #3 de la residencia estudiantil del ISMM. Describiéndose de manera general, las características físicas y eléctricas para el actual régimen de explotación.

Características físicas

El edificio cuenta con una estructura formada por 5 plantas. La primera está conformada por la cafetería, una carpintería y el almacén de la residencia (*esta planta no constituye objeto de estudio porque no se alimenta del breaker del edificio*). La segunda planta

está conformada por una sala de historia, una sala de video, un gimnasio, un salón de ensayo con sus correspondientes salas de estar y baños, la radio base, y pasillos. La tercera planta está conformada por ocho cuartos con tres cubículos cada uno y un baños, sala de estar y pasillos, pasillo principal, un baño de carpeta, sala de estar general y una carpeta. La cuarta y quinta planta están conformadas de manera similar, cada una con ocho cuartos, tres cubículos, un baño, una sala de estar y pasillos, una sala de estar general, un pasillo central y una sala de estudio. Tiene un nivel ocupacional por planta de 104 personas y en total 312. Actualmente está ocupado por 194 personas, en el anexo 1 se muestra la relación de personas que habitan el edificio. Las dimensiones de este edificio son:

Tabla 2.1 Dimensiones de los edificio #3

Local	Dimensiones (m)	
	Largo	Ancho
Cubículos de 4 personas	3,75	2,4
Cubículos de 6 personas	5,25	2,70
Baños	3,0	2,25
Sala de estar cuartos	4,0	2,0
Pasillo central	54	1,75
Sala de estar escalera	9,25	4,75
Sala de estudio	4,75	2,25

Características eléctricas

Este edificio se alimenta eléctricamente desde el banco de transformadores de la residencia estudiantil a través del breaker # 3 de la pizarra eléctrica. Además cuenta con un sistema de breakers independientes en el propio edificio que pueden desconectar el edificio en general, cada planta o cada cuarto, aunque el breaker # 3 esté conectado. La alimentación del edificio es trifásica aunque la fase #1 no está siendo utilizada y entre las fase #2 y #3 no existe un balance de las cargas siendo la #3

la fase a la que más cargas hay conectadas. La potencia instalada del edificio es de 86,65 kW.

La tabla 2.2 muestra la potencia instalada en el edificio #3.

Tabla 2.2 Potencia Instalada en el Edificio #3.

Equipos	Cantidad	Potencia por equipo (W)	Potencia Total (W)
Lámparas	174	20	3480
Lámparas	6	40	240
Ollas Arroceras	58	500	29000
Ollas Reinas	14	800	11200
Hornillas	19	1000	19000
Calentadores	17	1000	17000
Televisores Pandalas	8	85	680
Televisores LG	11	65	715
DVD	4	25	75
Refrigeradores Haier	2	85	170
Laptop	15	155	2325
Equipo de música	1	800	800
Ventiladores	49	40	1960
Total	378	4615	86645

Para la construcción del diagrama de Pareto mostrado en la figura 2.1 se agruparon los equipos según su función como se muestra en el anexo 2.

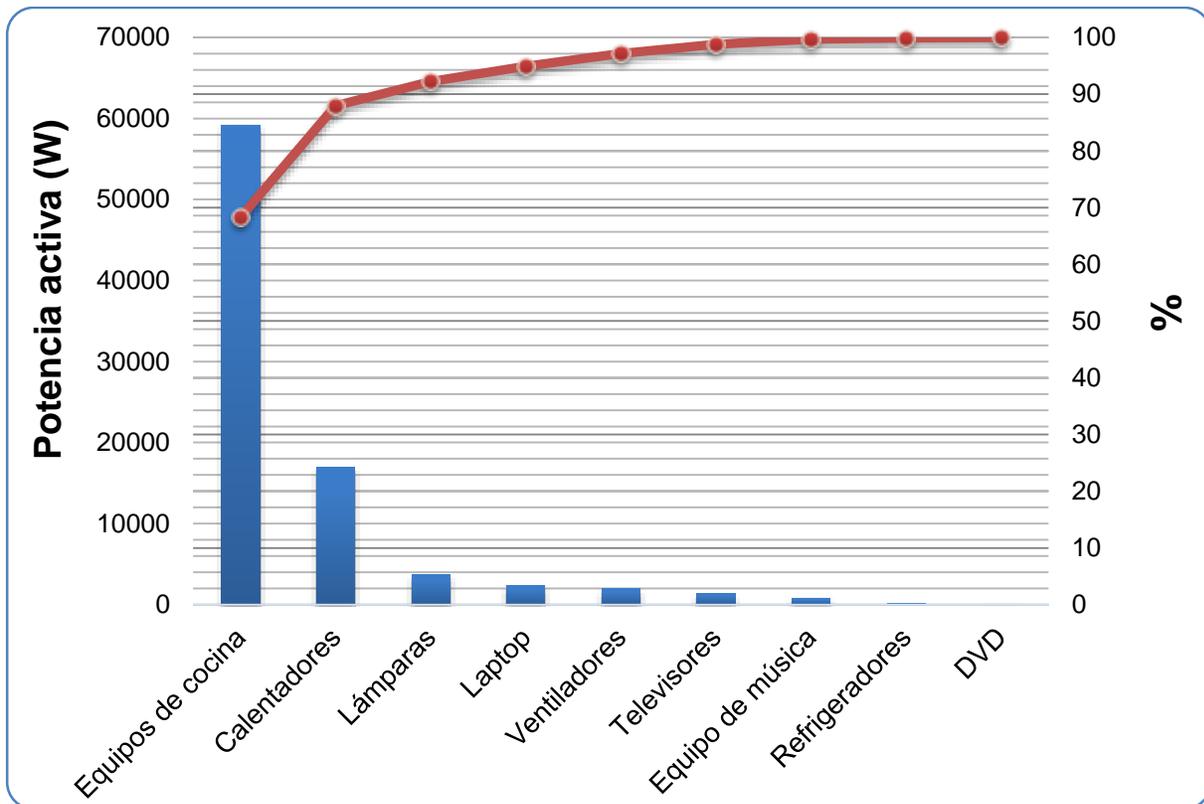


Fig. 2.1 Gráfico de Pareto para los equipos consumidores.

Al realizar un análisis el gráfico de Pareto para la potencia instalada en el edificio # 3 de la residencia estudiantil, se puede concluir que entre el 70 y el 90 % del consumo de energía esta generado por los equipos de cocina y calentadores. Por lo que los esfuerzos para lograr una mayor eficiencia energética en esta área deben de estar encaminado a hacer un uso más racional de estos equipos.

2.2 Selección de las variables

Para la realización de este trabajo fue necesario determinar variables eléctricas y no eléctricas. Las primeras de estas fueron seleccionadas aprovechando las funcionalidades de la Unidad Portátil de Mediciones (UPM) perteneciente al Departamento de Ingeniería Eléctrica. Las no eléctricas se seleccionaron a partir de trabajos precedentes realizados en Cuba para el sector de los servicios.

Variables eléctricas

- Potencia activa
- Energía activa
- Corriente
- Voltaje

Variables no eléctricas

- Cantidad de estudiantes por días
- Calidad del Menú del comedor
- Días de la semana
- Mes del año
- Lugar de procedencia de los estudiantes
- Cantidad de estudiantes del edificio que pasan al comedor

2.3 Metodología empleada en las mediciones eléctricas

Para realizar un análisis correcto de las variables eléctricas en algún centro o industria se requiere que los instrumentos de medición se instalen por un período mínimo de 24 horas, cuando el uso que se hace de los equipos es idéntico todos los días del mes. Para este proyecto se instaló el equipo de medición en el breaker #3 de la pizarra eléctrica de residencia estudiantil, tal y como se muestra en el anexo 3. Se tomaron datos durante un periodo de tiempo de dos meses, aunque hay que aclarar que resultó imposible recolectar los datos pertenecientes a todos los días correspondientes a este periodo por la influencia de hechos como apagones y red de la Intranet fuera de servicio. No obstante, se pudo almacenar en una base de datos suficiente información de las mediciones eléctricas.

Para el montaje de los equipos de medición fue necesario usar transformadores de corrientes ya que los niveles de esta son muy altos. Se conectó un transformador por cada fase que alimenta al edificio # 3 de la residencia estudiantil, de manera tal que la corriente circulara a través de estos desde P1 a P2 como se muestra en el anexo 4.

Las salidas de estos se conectaron a la UPM que está conformada por un analizador de redes de la marca WM2-96, este a su vez, se conecta a una Interface de comunicaciones RS-422/485 – Ethernet NPort Server Lite DE-334 de la marca Moxa. La cual se muestra en el anexo 5.

2.4 Metodología para el supervisar las variables no eléctricas

La metodología que se siguió para realizar la supervisión de las variables no eléctricas fue el control diario de las variables que así lo requerían, como la cantidad de estudiantes por días. Se entrevistó un número de estudiantes para determinar la calidad del menú del comedor y se consultó con el personal directivo de la residencia y otros trabajadores para obtener datos del nivel de explotación del edificio.

2.5 Instrumentación empleada

Para las mediciones de las variables eléctricas se empleó la UPM. Esta unidad puede ser utilizada con facilidad puesto que dispone de un manual técnico para su uso y mantenimiento. Permite medir las magnitudes eléctricas fundamentales de cualquier sistema eléctrico, es aplicable a cualquier subestación de bajo voltaje y puede utilizarse en empresas y edificios multifamiliares. En los epígrafes siguientes se da una breve explicación sobre los elementos que componen esta UPM.

2.5.1 Transformador de corriente

Para realizar este estudio se emplearon los transformadores de corrientes como el que se muestran en la figura 2.2.

Estos dispositivos que se conectan en cada una de las fases de los circuitos que componen la red eléctrica. Para este estudio se emplearon transformadores de 200/5 A puesto que los breaker de la residencia 3 son de 160 A.



Fig. 2.2 Transformador de corriente.

2.5.2 Analizador de redes

Para las mediciones de las variables eléctricas se utilizó el analizador de redes modular WM2-96 clase 1 mostrado en la figura 2.3. Tiene una dimensión de 96x96 mm en su parte frontal, construido por CARLO GABAZZI, está provisto de una pantalla liquid crystal display (LCD) con tres dígitos numéricos para mostrar la lectura de los parámetros leídos, fabricado para la medición de parámetros eléctricos (kW, kVAr, PF, kWh, kVArh, A, VL) [16].



Fig. 2.3 Analizador de redes WM2-96.

2.5.3 Interface de comunicaciones serie RS-422/485 - Ethernet

Una vez que los datos son medidos por el WM2-96 se le conectó una interface de comunicaciones serie RS-422/485 – Ethernet. El equipo empleado para este fin fue un

NPort Server Lite DE-334 como el que se muestra en la figura 2.4, cuenta con 4 puertos DB9 configurables a RS-422 o RS-485 comunicación serie y salida Ethernet para la comunicación con la computadora [16].



Fig. 2.4 NPort Server Lite DE-334.

Se utilizó porque permite controlar múltiples dispositivos de puerto serie sobre una red Ethernet basada en protocolo TCP/IP. Provee una solución de comunicación de conexión para RS-422 asincrónico múltiple. Cada modelo tiene dos (DE-302/332) o cuatro (DE-304/334) conexiones asincrónicas de puerto y una conexión 10/100M. Una ventaja principal, es que se puede monitorear dispositivos seriales asincrónicos virtualmente en cualquier parte del mundo [16].

Aunque se conecta a través del eslabón virtual del Ethernet, los puertos en NPort Server Lite son reconocidos como puertos reales de la salida de computadora para el manejo del sistema [16].

En la figura 2.5 se aprecian las conexiones de la interface y la tensión de alimentación. La forma más segura y más rápida de tener el sistema configurado correctamente es primero leer todo lo establecido por el manual de operación, y entonces comenzar el proceso real de instalación. Desde que el NPort Server Lite está conectado a través de una red del TCP/IP, usted necesitará saber algunos aspectos básicos acerca de conectarse.

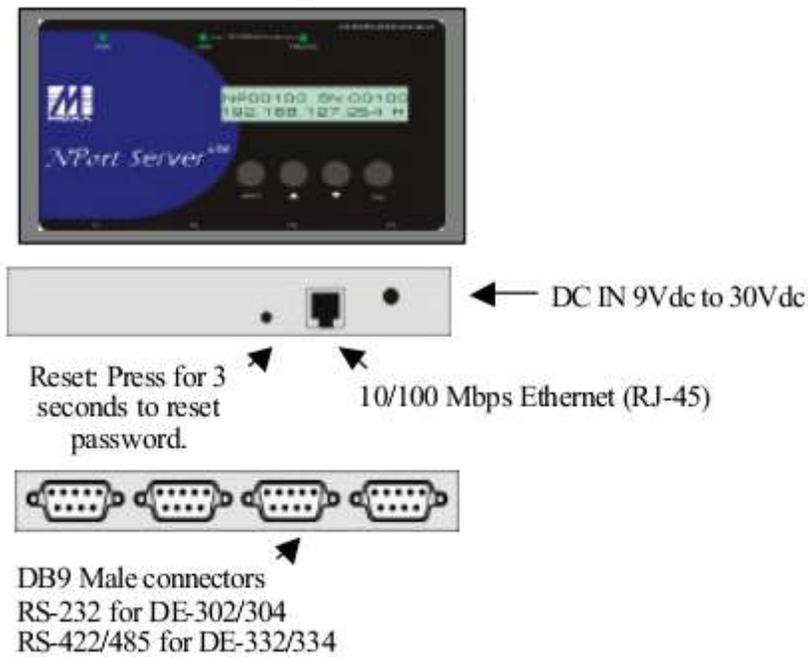


Fig. 2.5 Conectores del NPort Server Lite DE-334.

En la figura 2.6 se muestra el protocolo de comunicacion de un NPort con sus cuatro entradas en uso con un servidor. Estas entradas pueden ser usadas o no, todas a la misma vez.

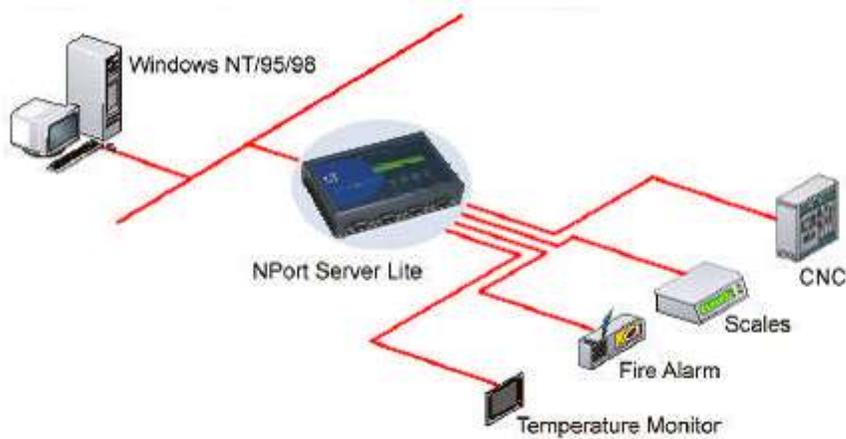


Fig. 2.6 Protocolo de comunicación del Nport Server Lite DE-334.

Con vista a lograr una mayor confiabilidad en este estudio y aprovechando las ventajas que nos brinda la unidad de medición se diseñó un protocolo de comunicación a través de la red de intranet del ISMM. La UPM se conecta primeramente al switch de Vicerrectoría de Extensión Universitaria. Desde este punto se conecta directamente al centro de red del instituto, el cual lo comunica al switch del laboratorio de eléctrica y luego al switch del Centro de Estudio de Energía y Tecnología Avanzada de Moa (CEETAM) en el ISMM, llegando de esta manera al servidor EROS donde se guardan los datos tomados por el equipo diariamente

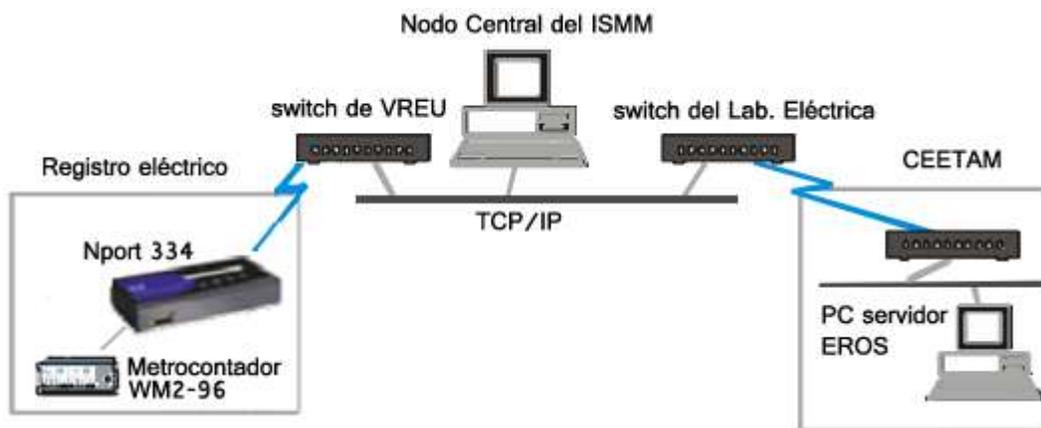


Fig. 2.7. Red de comunicación desde el lugar de las mediciones hasta el servidor EROS.

2.6 Aplicaciones informáticas empleadas

Para la visualización de los datos, el EROS, en esta versión del software exportar los datos de dos formas distintas:

- Exporta a *structured query language* (SQL): Programas para exportar los datos del sistema a bases de datos SQL.
- Exporta a TXT: Programa para exportar los datos del sistema a ficheros texto.

Para este proyecto se trabajó con la opción de exportar los datos en formato TXT, ya que este tipo de formato es el más adecuado para ser leídos por los scripts Hypertext Pre-processor (PHP). Los ficheros de texto son la manera que se utiliza en

programación (informática) para salvar los datos (variables y valores) procesados por los programas y que éstos, los datos, no tengan que ser introducidos constantemente para su posterior re-procesamiento por el programa.

En el caso del SCADA se utilizó un proyecto hecho en el trabajo de tesis de Miguel Reynosa Lamoru en el año 2012, sin embargo para lograr la integración con la web, se configuró de forma tal que los datos los exportara en un archivo de texto. Esta versión del EROS trae de manera independiente un pequeño programa TXTexport.exe como el que se muestra en la figura 2.8, que es el encargado de extraer los datos obtenidos en las mediciones para exportarlos para un documento en formato TXT.



Fig. 2.8 Programa TXTexport.exe para exportar las variables.

Una vez abierto y debidamente configurado, el programa guarda en un directorio de la computadora los registros históricos en documentos TXT y por nombre le pone el día de la medición en curso, esta ventaja es aprovechada para mostrar en la web los valores en tiempo real sin ningún tipo de equivocaciones en la fecha. Al finalizar cada día, a las 12:00 pm, se crea un archivo nuevo de forma automática con el nombre correspondiente a la nueva fecha.

Para la exportación de los datos se configuró en el software las variables para guardarlas como históricos y estas a su vez, podrían ser graficadas en la web. Por defecto el programa trae un período de muestreo de 2 segundos, pero en este trabajo se fijó en un valor de 10 segundos como se muestra en la figura del anexo 6, obteniéndose así un fichero con un total aproximado de 7850 líneas de datos medidos por día.

Para el montaje del sitio web con las mediciones en tiempo real se instaló un servidor independiente de plataforma Apache, MySQL, PHP, Perl (XAMPP) que es un servidor independiente de plataforma, software libre, que consiste principalmente en un sistema de gestión de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario (MySQL), el servidor web Apache y los intérpretes para lenguajes de script: PHP y Perl. Está liberado bajo la licencia GNU y actúa como un servidor web libre, fácil de usar y capaz de interpretar páginas dinámicas. Debido a los requerimientos del EROS y del XAMPP se decidió montar ambos servicios en la misma computadora.

Mediante la programación PHP se van leyendo solamente los datos guardados en las últimas 360 líneas para luego ser visualizados en el sitio web, es decir, se almacena en una variable, un arreglo de 360 datos para graficarlos en un periodo de tiempo de 360 segundos. Lo expuesto anteriormente significa que la potencia activa se grafica en tiempo real pero sólo se muestra la última hora de las mediciones. En la figura 2.9 se puede observar un ejemplo de un intervalo de dichas mediciones.

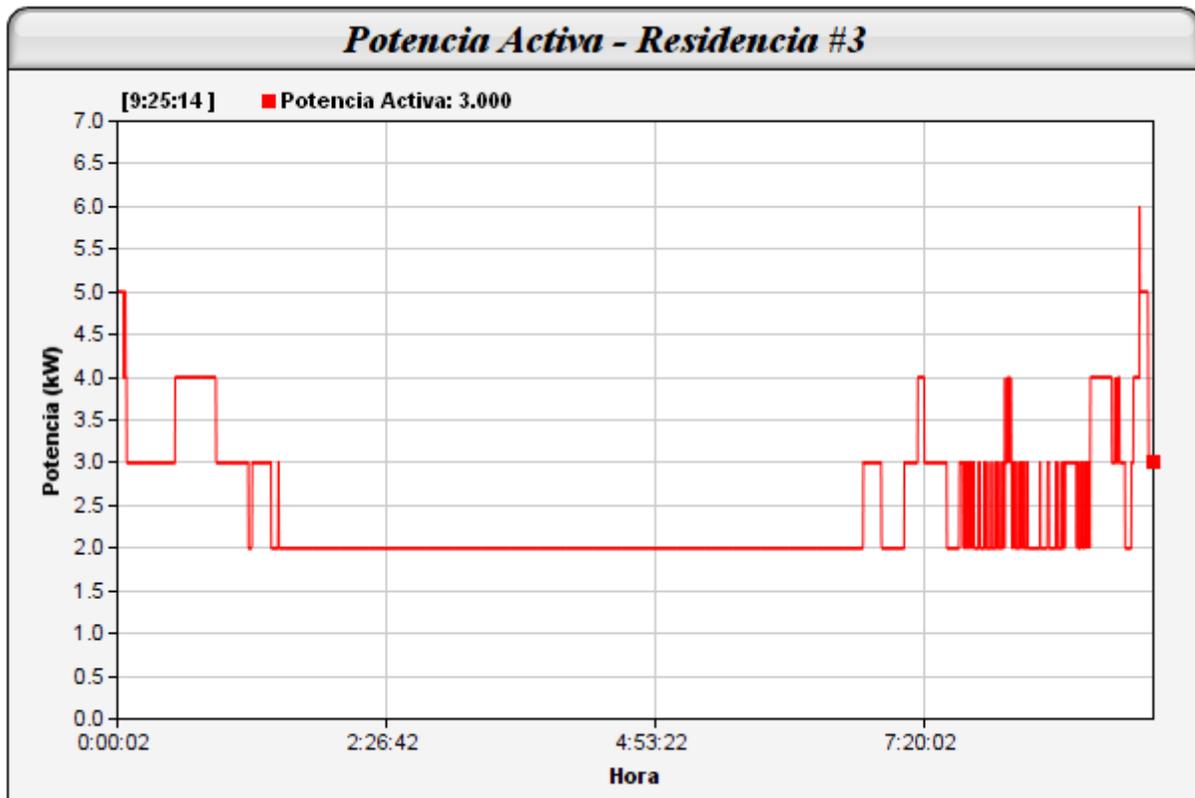


Fig. 2.9 Vista del gráfico de potencia activa en la web.

En el caso de visualización de todos los datos medidos, se programó un script en código PHP para realizar una lectura de la última línea solamente, cada 2 segundos. El refrescamiento de los datos mostrados en el sitio se programó mediante código de Asynchronous JavaScript And XML (AJAX) de JavaScript.

En las figura 2.10 y 2.11 se muestran capturas de las ventanas principales del sitio web y del SCADA EROS, en los anexos 7, 8 y 9 se pueden observar las capturas a pantalla completa de ambas aplicaciones.

Voltaje fase 1	1,31 V	Potencia activa fase 1	0,00 kW
Voltaje fase 2	120,31 V	Potencia activa fase 2	0,52 kW
Voltaje fase 3	119,69 V	Potencia activa fase 3	3,63 kW
Voltaje 3f	139,44 V	Potencia activa 3f	4,17 kW
Corriente fase 1	0,00 A	Potencia reactiva f1	0,00 kvar
Corriente fase 2	4,48 A	Potencia reactiva f2	-0,10 kvar
Corriente fase 3	30,71 A	Potencia reactiva f3	0,00 kvar
Corriente 3f	11,75 A	Potencia reactiva 3f	0,54 kvar
Factor de Potencia f1	0,00	Energía activa total	166,77 kW/h
Factor de Potencia f2	0,98	Energía activa parcial	73,12 kW/h
Factor de Potencia f3	0,99	Energía reactiva total	-540,84 kvarh
Factor de Potencia 3f	0,99	Energía reactiva parcial	107,92 kvarh

Fig. 2.10 Mediciones mostradas en la web.

Tensión fase 1	1 V	Potencia activa fase 1	0.0 kW
Tensión fase 2	120 V	Potencia activa fase 2	0.5 kW
Tensión fase 3	120 V	Potencia activa fase 3	3.6 kW
Tensión Sist. Trifásico	139 V	Potencia activa trifásica	4.2 kW
Intensidad fase 1	0.0 A	Potencia reactiva fase 1	0.0 kvar
Intensidad fase 2	4.5 A	Potencia reactiva fase 2	-0.1 kvar
Intensidad fase 3	30.7 A	Potencia reactiva fase 3	0.6 kvar
Intensidad Sist. trifásico	11.7 A	Potencia reactiva trifásica	0.5 kvar
Coseno de Fi Fase 1	0.00	Energía activa Total	166.758 kWh
Coseno de Fi Fase 2	0.98	Energía reactiva total	-540.838 kVarh
Coseno de Fi Fase 3	0.99	Energía activa parcial	73.098 kWh
Coseno de Fi Fase del Sistema	0.99	Energía reactiva parcial	107.922 kVarh

Fig. 2.11 Mediciones mostradas en el SCADA EROS.

Las gráficas con los datos medidos en tiempo real se lograron mediante el empleo de la librería de ChartDirector para PHP, para ello se descargó de la web oficial del autor la versión 5.1 para trabajarla en el Sistema Operativo Microsoft Windows. Este software es privativo lo cual constituye una desventaja del sistema, pero no obstante a esta limitante, el autor da la oportunidad de utilizarlos sin ser registrada.

Para el diseño de la interfaz gráfica del sitio web se utilizó el CMS Joomla!, se escogió este framework por ser software libre y además porque es el gestor de contenido que destaca por la facilidad de su instalación y configuración.

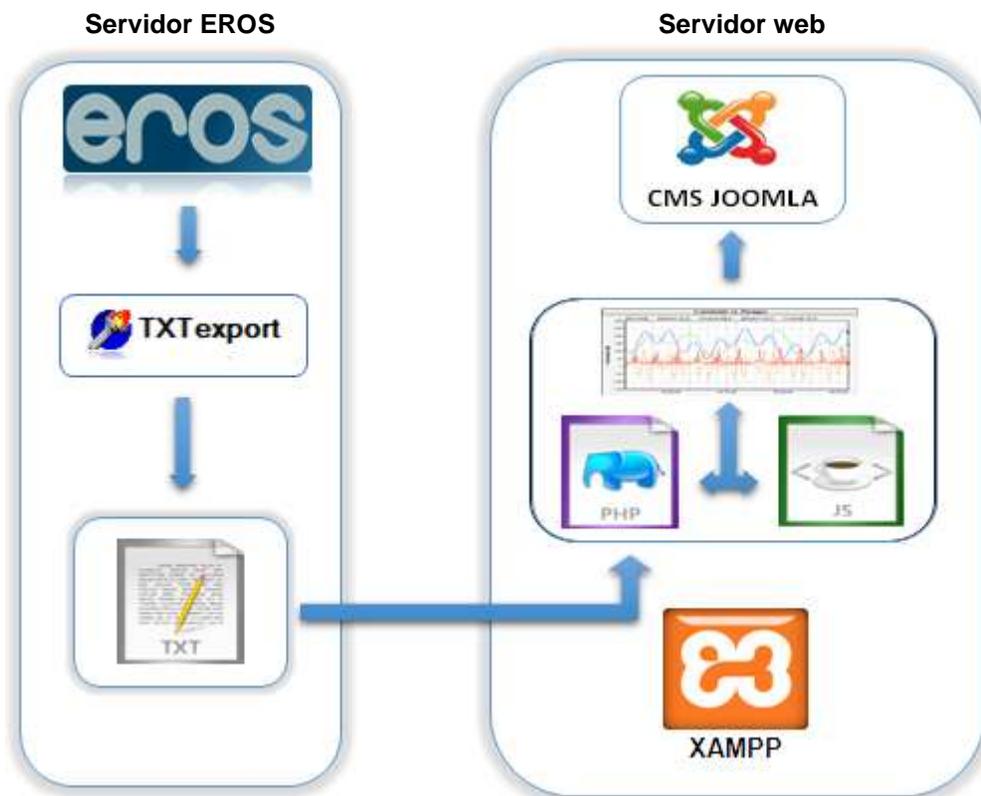


Fig. 2.12 Esquema en bloques del sistema de información en tiempo real.

Para el procesamiento de los datos medidos y observados se utilizó el software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 15.0 para Windows. Esta

herramienta es un asistente estadístico que integra métodos de estadística descriptiva e inferencial.

SPSS 15.0 es un sistema global para el análisis de datos. SPSS puede adquirir datos de casi cualquier tipo de archivo y utilizarlos para generar informes tabulares, gráficos y diagramas de distribuciones y tendencias, estadísticos descriptivos y análisis estadísticos complejos. SPSS consigue que el análisis estadístico sea accesible para el principiante y muy práctico para el usuario experto. Las selecciones de menú y los cuadros de diálogo permiten realizar análisis complejos sin necesidad de teclear ni una sola línea de sintaxis de comandos. El Editor de Datos le ofrece una herramienta simple y eficaz con un diseño del tipo de hoja de cálculo, que le permitirá introducir datos y examinar el archivo de datos de trabajo [8]. Los resultados de los análisis hechos con este programa se muestran en el capítulo 3.

2.6.1 Sistema de información en tiempo real vía web

Estas mediciones fueron implementadas a través de una web con vista a facilitar al personal directivo del centro una vía confiable y poco complicada, por la cual se pudiera acceder a la base de datos histórica y las mediciones puntuales en tiempo real, para ayudar a la toma de decisiones con respecto al consumo de energía eléctrica en el edificio # 3 de la residencia estudiantil del ISMM y de esta manera mejorar la eficiencia energética del centro.

El sitio web es un sistema de información en tiempo real que se define como un sistema físico informático de interacción constante con un medio por el cual está recibiendo datos de campo para que luego estos sean procesados y emitir resultados.

Esta información también se podría haber brindado a través del propio EROS, pero habría sido necesario instalar una aplicación de este, en cada computadora que se quisiera visualizar esta información, resultando un proceso un poco complicado. Sin embargo vía web se puede ver la información desde cualquier computadora del instituto a través de la dirección <http://10.28.4.228/mediciones>.

2.7 Comportamiento de las variables eléctricas

Teniendo en cuenta los datos medidos, se realizó un análisis de algunas variables eléctricas que se consideran tienen una mayor importancia para la investigación.

2.7.1 Comportamiento de la corriente eléctrica durante los días laborables

Para determinar el comportamiento de la corriente durante días de semana laborables se realizó un estudio de los gráficos obtenidos a través de los datos medidos en los diferentes días.

Con este estudio de determino que el comportamiento de la corriente durante los días laborables de una semana es bastante regular. En el gráfico de la figura 2.13 se puede ver que esta registra varios picos o valores máximos en distintos horarios del día. Los picos más significativos se generan aproximadamente la 6:30 am a las 8:30 am, alcanzando valores entre 40 y 50 A , debido que a esta hora se comienzan a levantar la mayoría de los estudiantes; otro entre las 10:30 am y 11:00 am, con valores entre 30 y 45 A debido a que a esta hora es el receso de los estudiantes y el aumento más significativos de los valores de corrientes se registran entre las 4:00 y 10:30 pm, alcanzado valores por encima de los 100 A debido a que este es el horario en que permanece un mayor número de estudiante en los cuartos y se conectan una mayor cantidad de equipos electrodomésticos los cuales incluyen equipos de cocina y calentadores, que ocasionan un gran consumo.

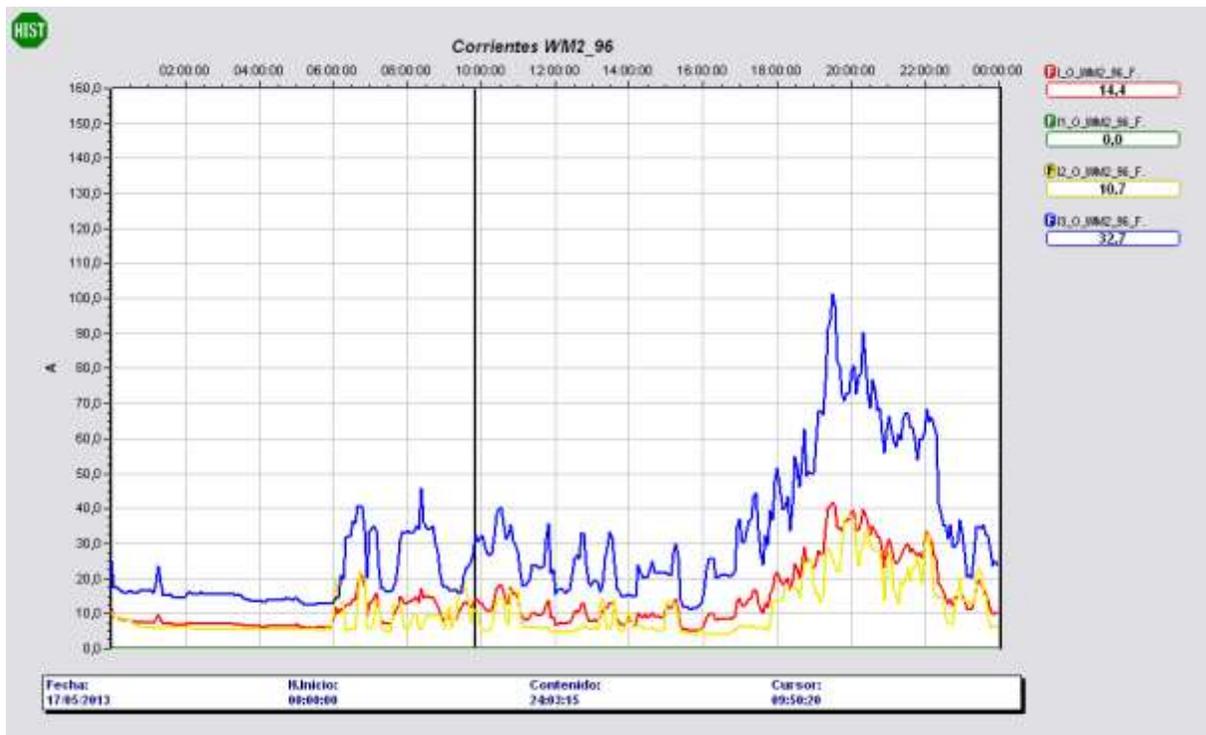


Fig. 2.13 Comportamiento de la corriente eléctrica para un día laborable.

2.7.1.1 Comportamientos de la corriente para un fin de semana

Para estos días el comportamiento de la corriente es un poco más irregular durante el horario de la mañana figura 2.14. El cambio más significativo con respecto a los días laborables de la semana en este horario, es la hora en que se comienzan a producir los mayores consumos y que estos son más elevados que los días de semanas. El horario en que se producen estos consumos es entre las 9:30 am y 1:30 pm y pueden oscilar entre 40 y 70 A ya que en estos días no se dan clases y los estudiantes que se quedan pueden permanecer todo el tiempo en el cuarto y levantarse un poco más tarde. Sin embargo durante el horario de la tarde el cambio más significativo no es el horario, sino en los valores de la corriente, que son más pequeños; manteniéndose un aumento de los valores desde alrededor de las 4:30 pm y hasta las 10:30 pm al igual que en los días laborables de la semana. Esto es debido a que este es un horario en el que regularmente las personas cocinan y se bañan, para lo cual se conectan equipos de cocina y calentadores de agua, independientemente del día de la semana que sea.

Aunque los picos no alcanzas valore tan elevados como en los días laborables de la semana. Estos oscilan entre los 50 y 80 A.

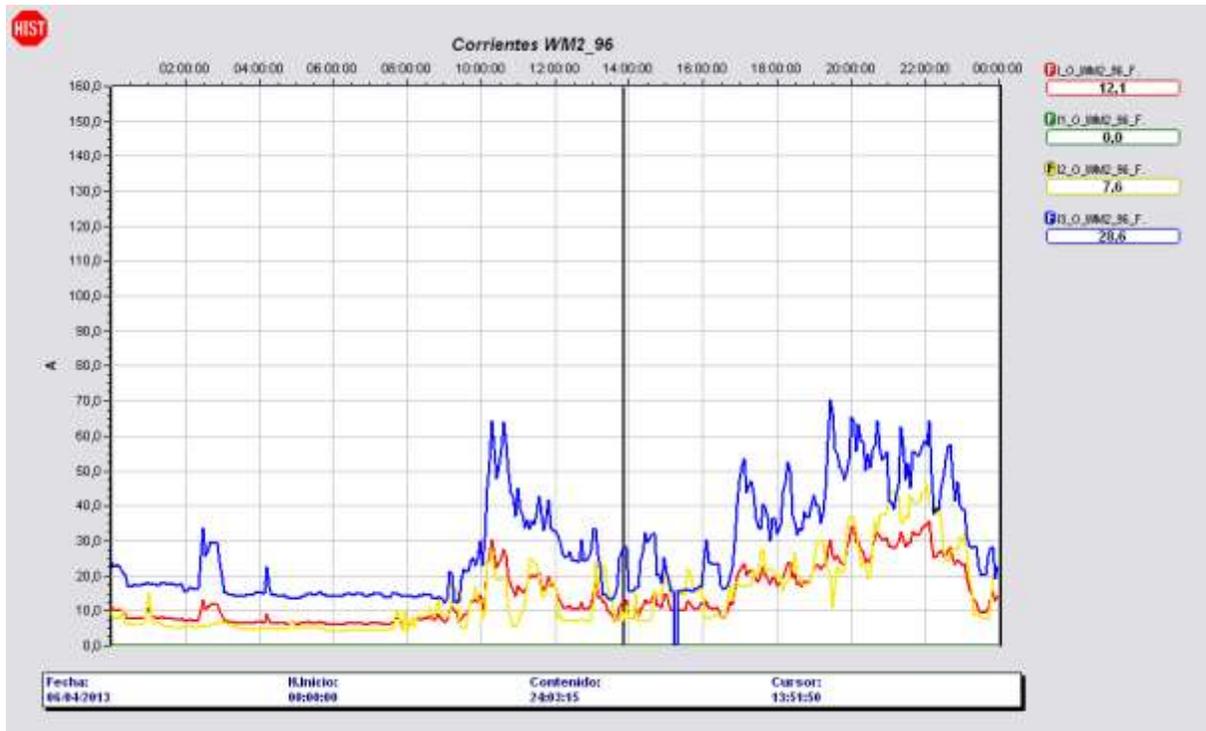


Fig. 2.14 Comportamiento de la corriente eléctrica para un fin de semana.

2.7.2 Comportamiento de la potencia activa durante los días laborables

Si se realiza un gráfico de potencia activa y uno de corriente para un mismo día, tomando los datos de las mediciones a una misma hora para las dos variables se obtendrá un modelo casi idénticamente igual, con las mismas variaciones y picos en los mismos horarios, ya que estas variables son directamente proporcionales. Solo van a variar los valores puntuales de cada variable.

En el gráfico de la figura 2.15 se puede ver que la potencia activa registra varios picos o valores máximos en distintos horarios del día. Los picos más significativos se generan aproximadamente la 6:30 am a las 8:30 am, alcanzando valores entre 4 y 8 kW, debido que a esta hora se comienzan a levantar la mayoría de los estudiantes; otro entre las 10:30 am y 11:00 am, con valores entre 5 y 7 kW debido a que a esta hora es

el receso de los estudiantes, y el aumento más significativos de los valores de potencia activa se registran entre las 4:30 pm y 10:30 pm alcanzado valores entre 10 y 25 kW debido a que este es el horario en que permanece un mayor número de estudiante en los cuartos y se conectan una mayor cantidad de equipos electrodomésticos los cuales incluyen equipos de cocina y calentadores, que ocasionan un gran consumo, debido a que cada uno de estos equipos consumen alrededor de 1 kW .

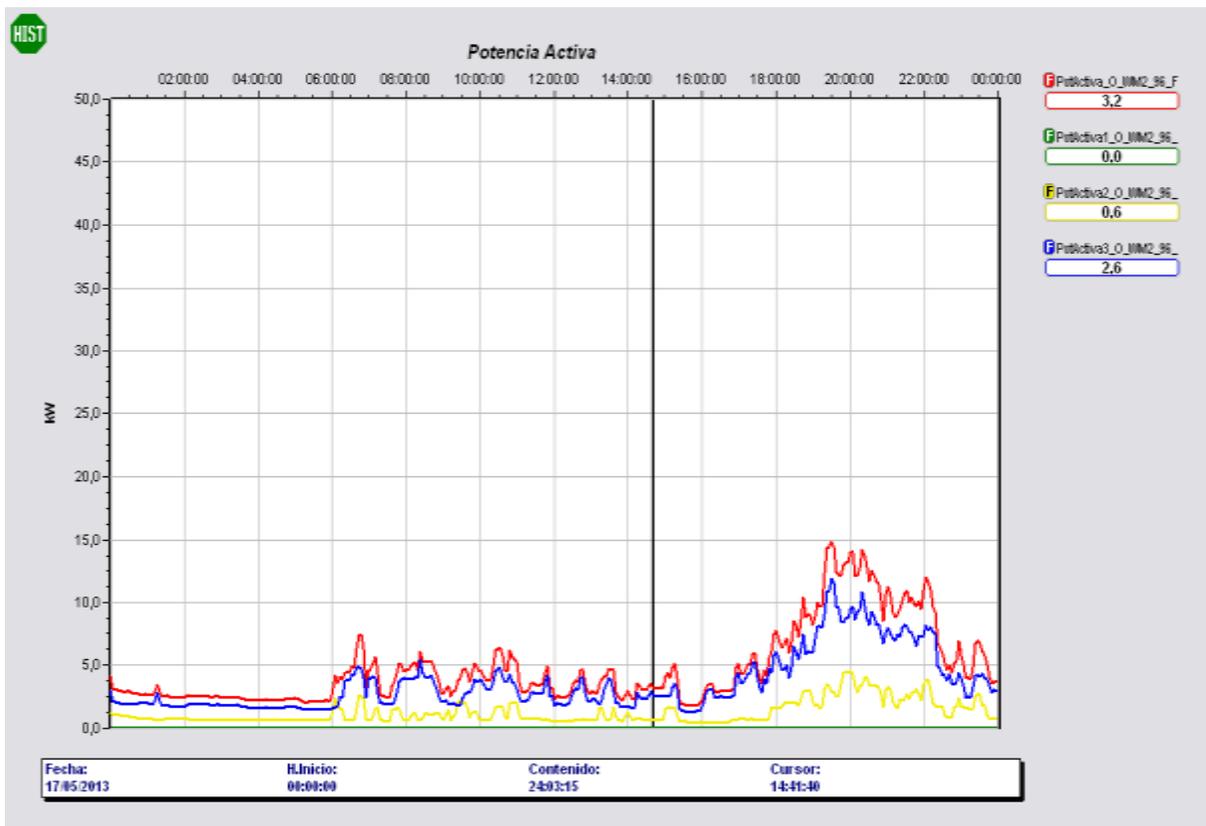


Fig. 2.15 Comportamiento de la potencia activa para un día laborable.

2.7.2.1 Comportamiento de la potencia activa para un fin de semana

Para esto días el comportamiento de la potencia activa es un poco más irregular durante el horario de la mañana, ver figura 2.16. El cambio más significativo con respecto a lo días laborables de la semana en este horario es, la hora en que se comienzan producir los mayores consumos y que estos son más elevados que los día de semanas debido a que para estos días los estudiantes que se quedan en el edificio

pueden permanecer mucho más tiempo en los cuartos y hacer un uso mayor de los electrodomésticos. El horario en que se producen estos consumo es entre las 9:30 am y 1:30 pm y pueden oscilar entre 10 y 15 kW. Sin embargo durante el horario de la tarde el cambio más significativo no es el horario, sino en los valores de la potencia activa, manteniéndose un aumento de los valores desde alrededor de las 4:30 pm y hasta las 10:30 pm al igual que en los días laborables de la semana. Esto es debido a que este es un horario en el que regularmente las personas cocinan y se bañan, para lo cual se conectan equipos de cocina y calentadores de agua, independientemente del día de la semana que sea. Aunque los picos no alcanzas valore tan elevados como en los días laborables de la semana. Estos oscilan entre los 8 y 20 kW

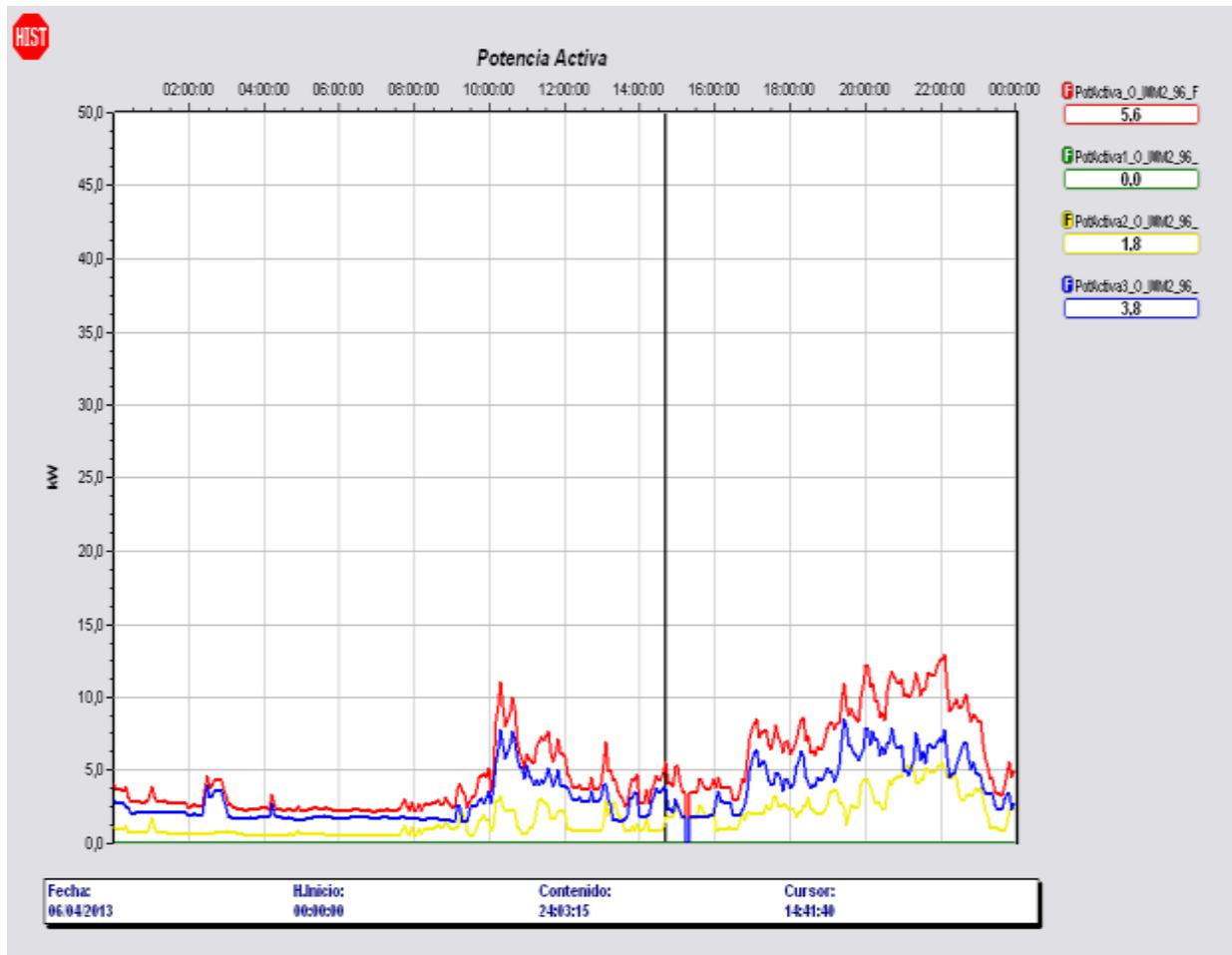


Fig. 2.16 Comportamiento de la potencia activa para un fin de semana.

2.7.3 Comportamiento de voltaje

Después de realizar un estudio de los datos obtenidos de las mediciones y de los gráficos de las tenciones, se determinó que el comportamiento de esta variable es bastante estable y que las variaciones que presenta no son significativas para estos niveles de voltajes. El voltaje para la fase 2 y 3 está entre 120 y 122 V y para el sistema entre 140 y 142 V.

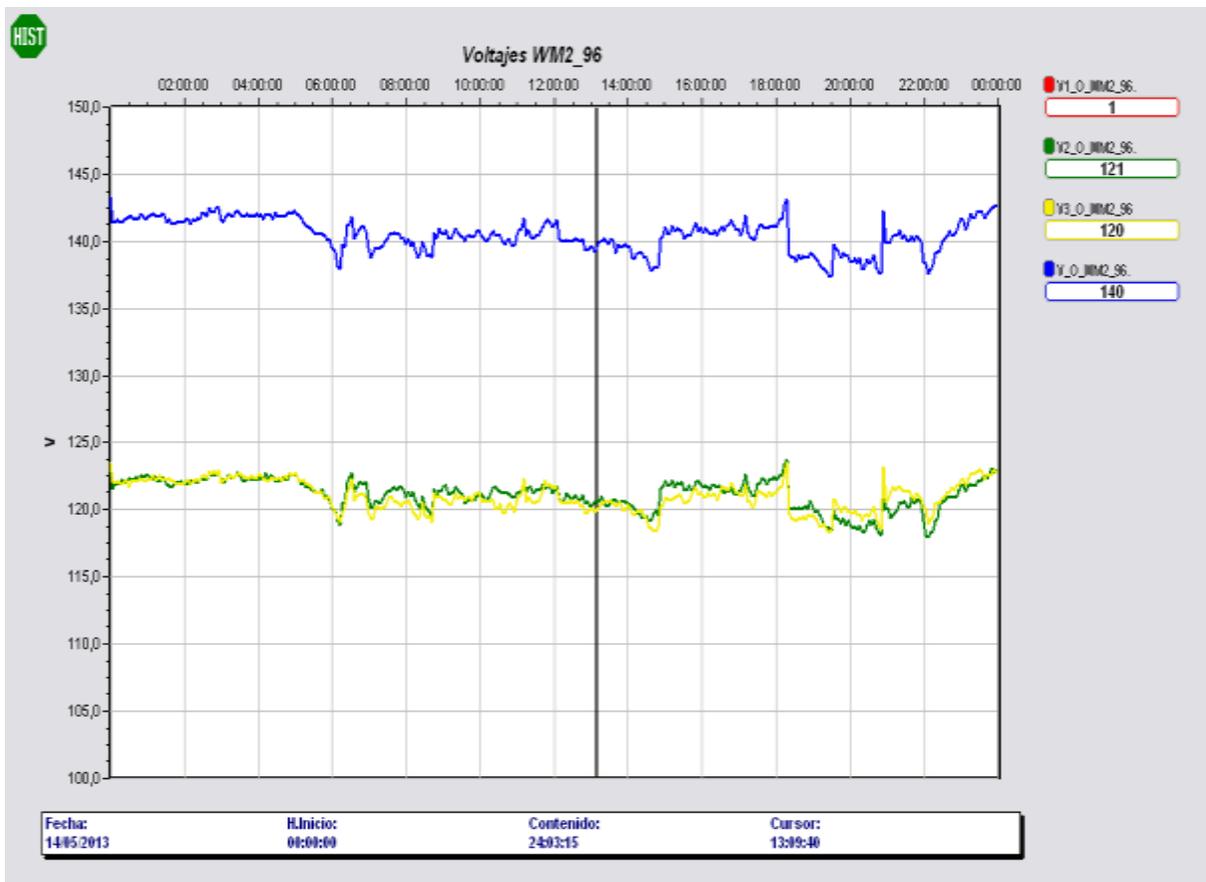


Fig. 2.17 Comportamiento del voltaje.

2.7.4 Comportamiento del consumo de energía

Para el gráfico de la figura 2.18 se tomaron los datos de la energía consumida por día durante el periodo de medición y se le determinó el valor medio arrojando un resultado de 125,66 kWh consumido por días, con una desviación estándar de 15,42.

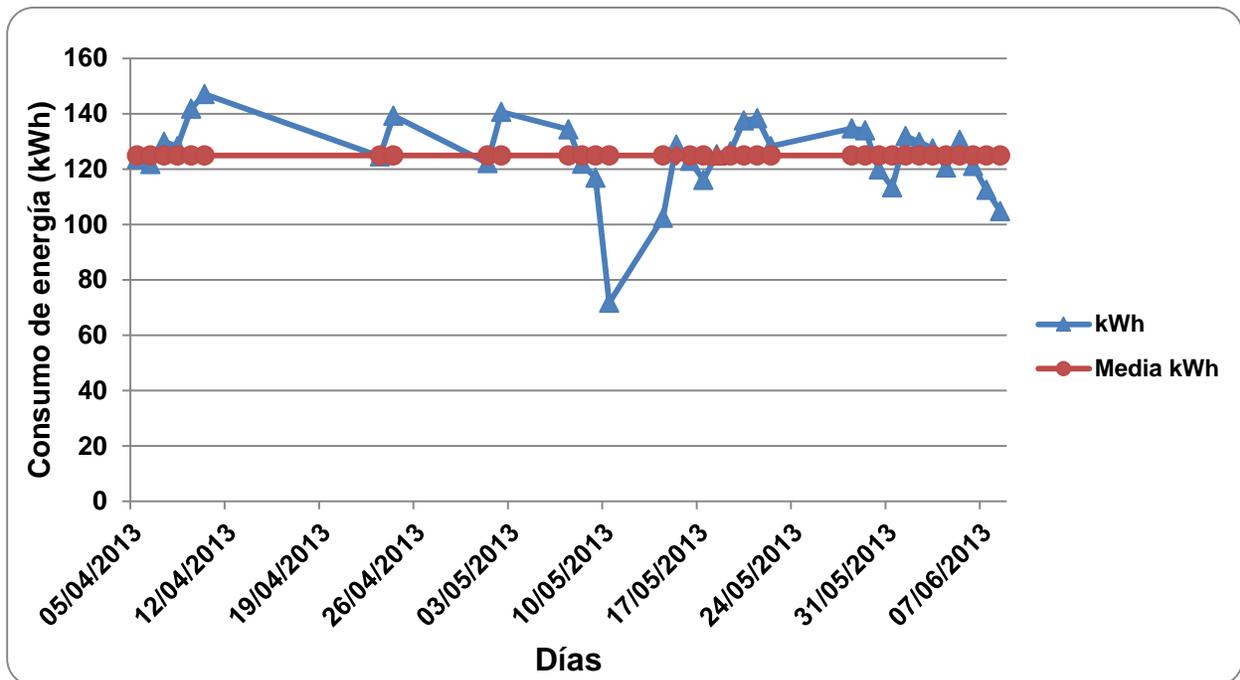


Fig. 2.18 Comportamiento diario de la energía eléctrica consumida.

2.8 Influencia de las variables no eléctricas en el consumo de energía

En los epígrafes siguientes se evaluará la influencia en el consumo de energía eléctrica de las variables no eléctricas determinadas en el epígrafe 2.2.2.

2.8.1 Cantidad de estudiantes

Como se puede ver en el gráfico de la figura 2.19 el consumo de energía tiene una gran relación con la cantidad de estudiantes y estos a su vez con los día de la semana, a pesar de que el sábado como se muestra en el gráfico esto no se cumpla. Este comportamiento es debido a que aunque la cantidad de estudiantes para este día es menor, los mismos pueden permanecer la mayor parte del tiempo en los cuartos y se hace un mayor uso de los equipos electrodomésticos. En el gráfico se ve claramente que los mayores consumos de energía se registran entre el lunes y el jueves y los menores valores entre el viernes y el domingo aunque en este último día ya se puede apreciar que el consumo comienza a aumentar con respecto al viernes y al sábado debido a que este día llegan una gran parte de los estudiantes.

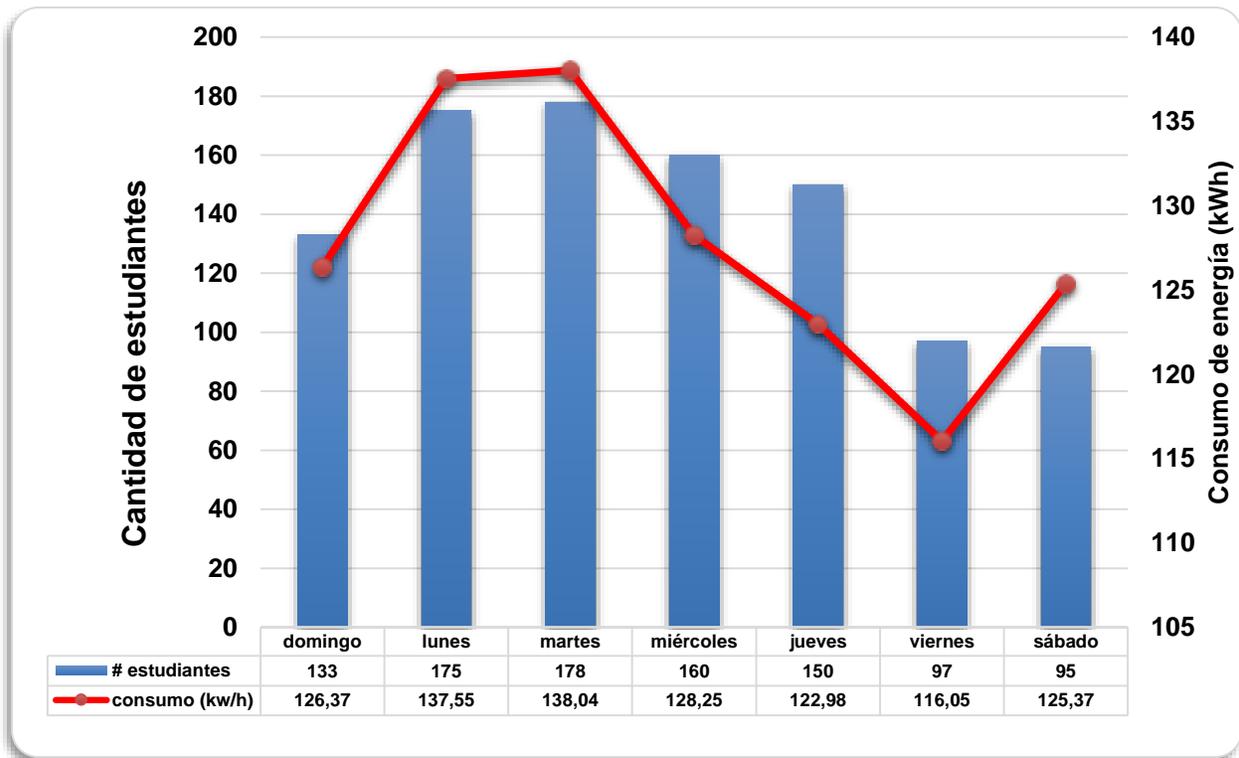


Fig. 2.19 Relación entre el consumo de energía, cantidad de estudiantes y los días de la semana.

2.8.2 Calidad del menú

En el gráfico de la figura 2.20 refleja la influencia que tiene la calidad del menú en el consumo de energía eléctrica en edificio # 3 de la residencia estudiantil de ISMM. Para realizar este gráfico se tomaron días en los que la cantidad de estudiantes era la misma o que la variación entre ellos no fuera significativa (*entre uno y tres estudiantes*). Además se le asignó un valor numérico al menú de acuerdo a su clasificación: bueno (30), y malo (10).

Tabla 2.2 Calidad del Menú del comedor

Cantidad de estudiantes	Calidad del menú	Consumo en kWh
117	20	116,88
118	30	102,39
135	20	141,81
133	30	126,37

160	30	121,88
160	20	134,03

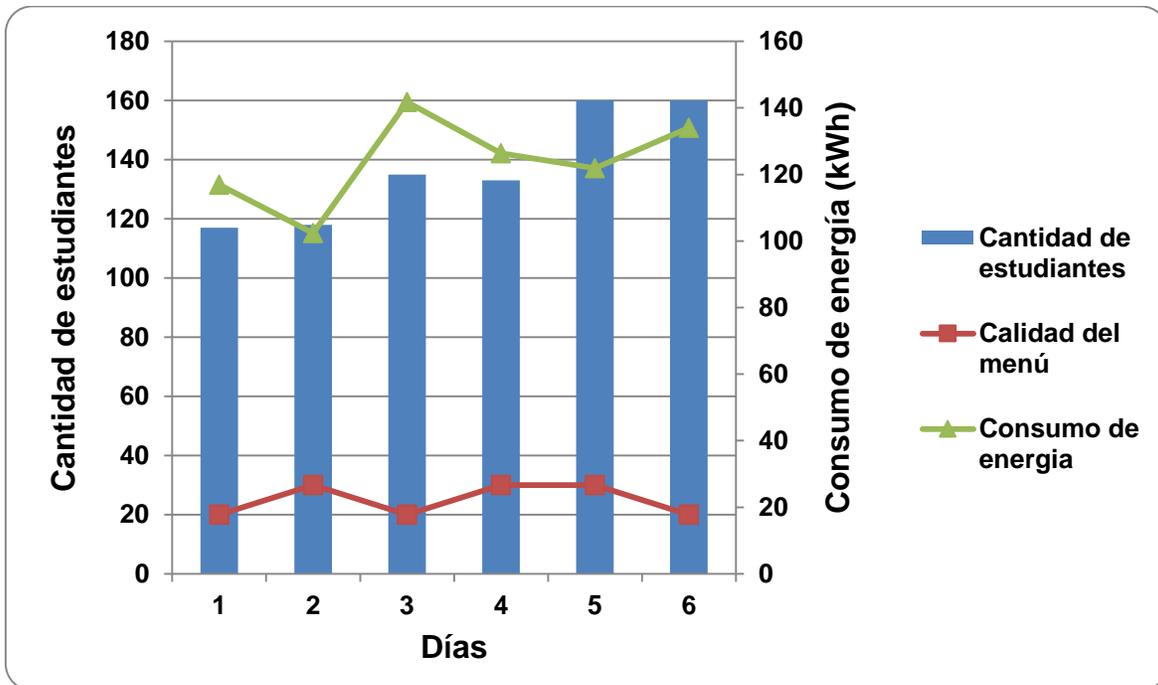


Fig. 2.20 Relación entre la calidad del menú y el consumo de energía.

2.8.3 Lugar de procedencia de los estudiantes

El lugar de procedencia de los estudiantes también tiene una gran influencia en el consumo de energía principalmente en los fines de semana, ya que para estos se hace un poco más difícil viajar.

- Fueron considerados estudiantes de lejos los que viven en los municipios de: Banes, Antilla, Holguín, Calixto García, Gibara y en otras provincias del país.
- Fueron considerados estudiantes de cerca a los que viven en los municipios de: Moa, Sagua de Tánamo, Fran País, Mayarí y Cueto.

En el gráfico de la figura 2.21 se ve el porcentaje que representan los estudiantes que viven lejos con respecto a los que viven cerca. Estos datos son representativos para un fin de semana en el que se quedaron un total de 86 estudiantes, 58 de lejos y 28 de cerca.



Fig. 2.21 Representación del % de estudiantes que viven lejos y cerca respectivamente.

2.8.4 Cantidad de estudiantes que pasan al comedor

Durante el estudio se pudo comprobar que el comportamiento de esta variable no se correspondía con la cantidad de estudiantes que se quedaba realmente en el edificio. En realidad se comprobó que las comidas liberadas sobrepasaban la cantidad real de estudiantes, y por esta razón se decidió no tener en cuenta esta variable ya que no caracteriza la realidad del fenómeno.

2.9 Determinación y análisis del indicador de consumo

Aunque en tesis precedentes realizadas en el ISMM se calcula un indicador de consumo [2], en el presente trabajo se siguió una metodología planteada por el Departamento de Física de la Universidad Nacional de Colombia en el año 2007. En ese proyecto se resume brevemente todos los aspectos referentes al indicador calculado tal y como se muestra en la tabla 2.3. Sin embargo estos datos corresponden al indicador de consumo definido para la residencia #3. Esta metodología es aplicable a futuros indicadores energéticos que se calculen en cualquier residencia de nuestro país.

Tabla 2.3 Definición del indicador de consumo

Código	CEEPE
Indicador	Consumo de energía eléctrica por estudiantes
Definición	Cociente entre el consumo de energía eléctrica (kWh) dividido por el número total de estudiantes (est.)
Objetivos energéticos	Medir a lo largo de un tiempo determinado, el consumo de energía eléctrica por estudiante
Variables	Consumo de energía eléctrica (kWh)
	Cantidad de estudiantes (est)
Unidad de medida	kWh/est.
Formulación	$\text{kWh/est.} = \text{consumo de energía eléctrica (kWh)} / \text{cantidad de estudiantes (est)}$
Cadena temporal	Diario, Mensual, Anual
Ámbito geográfico comparativo	Cuba
Ámbito de aplicación	Residencias universitarias
Factibilidad de cálculo	Datos existentes sistematizados
Relación con otros indicadores	
Observaciones	

Para el gráfico de la figura 2.22 se tomaron los valores de energía diarios y se dividió entre la cantidad de estudiantes que había en el edificio, correspondientes al día de la medición realizada. A estos valores se le determinó el valor promedio, arrojando como resultado que el consumo de energía eléctrica promedio de un estudiante por días es de 1,02 kWh/est., con una desviación estándar de 0,24.

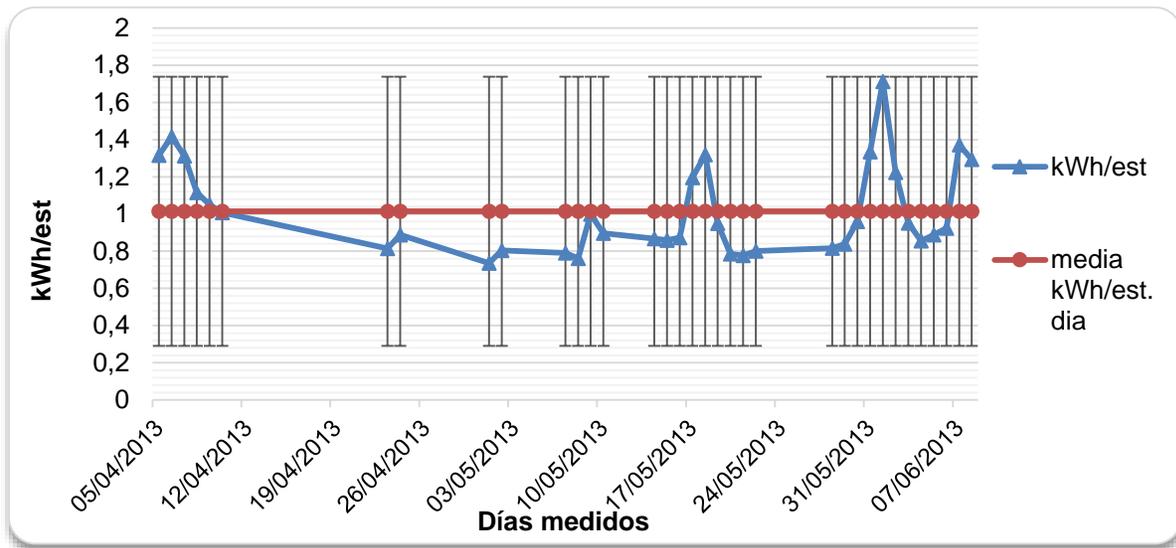


Fig. 2.22 Consumo de energía eléctrica promedio en kWh por estudiantes en un día.

En las conclusiones del trabajo de tesis de Alex Pérez Mustelier y Yácomo Torres Noa del año 2006, se da una visión del comportamiento de este indicador para el ISMM en años anteriores:

“El índice de consumo de energía global del centro en el 2005 fue de 1,80 kWh/est.día. Estableciendo una comparación con los años anteriores ejemplo el 2002, donde el índice fue de 2,12 kWh/est.día se observa que ha existido una disminución de un 32% lo que representa un ahorro por este concepto de \$4730,4 sin embargo este valor aún resulta alto si comparamos nuestro consumo contra los índices de otros centros mayores con matrículas superiores. Durante los últimos cuatro años se observa que el mayor índice de consumo se tiene en el área de residencia con un valor de 1,44 kWh/est.día (para el año 2003); por ello se propone llevar este valor a 0,8 kWh/est.día y esto significaría un ahorro anual de \$9460,8 pesos.”

En el cálculo del indicador de consumo de energía eléctrica del edificio #3 de la residencia estudiantil del ISMM se obtuvo como resultado 1,02 kWh/est.día, si se realiza este estudio a los otros edificios de la residencia estudiantil, este índice podría disminuir debido a que este edificio el #3 es uno de los que más energía eléctrica consume

además de que los otros edificios de residencia presentan un mayor nivel ocupacional.

2.10 Incidencia del consumo de energía del edificio #3 en el banco de transformadores

Para realizar el gráfico de la figura 2.23 se tomaron los valores de energía consumida durante los días medidos y se sumaron. Igualmente se hizo con los datos obtenidos de los registros históricos de consumo de energía del banco de transformadores de residencia, correspondiente a los mismos días de las mediciones. Lo que dio como resultado que el edificio #3 consumió el 10% de la energía eléctrica en el banco de transformadores durante el periodo de mediciones.

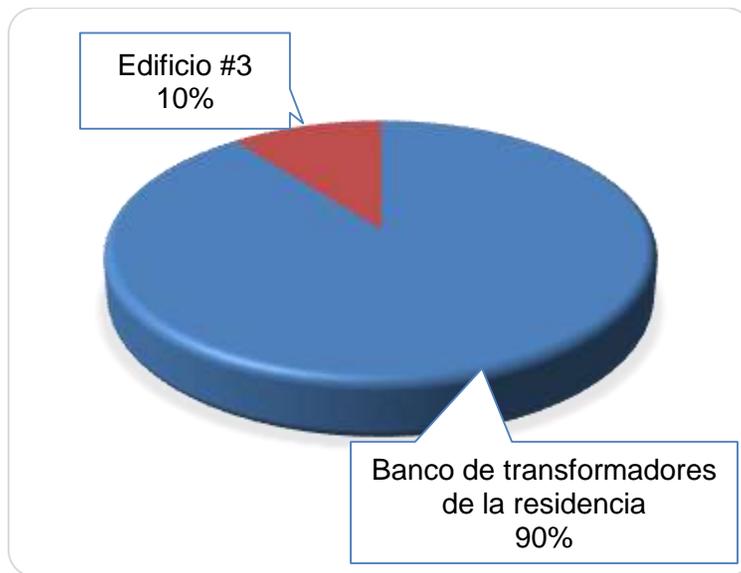


Fig.2.23 Consumo de energía del edificio #3 y banco de transformadores de residencia.

Capítulo III: Identificación del modelo de predicción

Introducción

En este capítulo se identifica el modelo de predicción de consumo de energía eléctrica a través del método de regresión lineal múltiple. Para el procesamiento de los datos, se realiza una normalización de las variables y con el modelo encontrado; se obtienen perfiles de consumo de energía eléctrica para días y semanas.

3.1 Selección del modelo de predicción

Al estudiar el epígrafe 1.6, se determinó que el análisis de los datos mediante series temporales no es adecuado ya que no se cuenta con un histórico representativo de los mismos, solamente se tiene la información de un mes completo y no se pueden estudiar los ciclos estacionales.

Los métodos de inteligencia artificial por sí solos no justifican su utilización, ya que el conjunto de datos es pequeño y las relaciones pueden ser estudiadas a partir de los parámetros de la distribución empírica que siguen los datos.

Del análisis realizado se concluye que la utilización de un método paramétrico es acertada porque permite estudiar las relaciones entre un grupo de variables independientes o explicativas, y otro grupo de variables dependientes. El modelo a utilizar será una regresión múltiple, donde la variable dependiente es el consumo de energía eléctrica y las variables explicativas son las no eléctricas que se definieron en el capítulo 2.

3.2 Formulación del modelo de regresión lineal múltiple

$$\hat{y} = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + A_4X_4 \quad (3.1)$$

Donde los A_i para $i = \overline{0;4}$, son los coeficientes del modelo, y las X_i son las variables explicativas del modelo. Su correspondencia con los nombres reales es la siguiente:

X_1 : Días de la semana.

X_2 : Mes del año.

X_3 : Menú del comedor.

X_4 : Cantidad de estudiantes por días.

\hat{y} : Consumo de energía eléctrica.

3.3 Normalización de las variables del modelo de regresión

Para la normalización de todas las variables, se asumió la siguiente expresión:

$$Valor_normalizado(i) = \frac{Valor_representativo(i)}{Valor_máximo} \quad (3.2)$$

La constante $Valor_máximo$ representa el consumo diario máximo que se puede alcanzar en el edificio # 3, su valor es igual a 2079,6 kWh; y depende de la potencia instalada. La expresión $Valor_representativo(i)$ expresa el consumo promedio diario para la variable $i = \{\text{Días de la semana, Mes del año, Menú del comedor}\}$. La expresión $Valor_normalizado(i)$ representa la transformación de los datos observados, cuyo formato final es un valor comprendido en el intervalo (0;1).

3.3.1. Días de la semana

La influencia de los días de la semana, se verificó a partir del consumo promedio diario medido durante tres semanas. En la última fila de la tabla 3.1 se muestran los valores que puede tomar la expresión $Valor_representativo(\text{Días de la semana})$.

Tabla 3. 1. Consumo promedio diario de energía eléctrica para 3 semanas.

Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Semana1	128,28	141,81	147,1	140,69	123,64	121,78	129,91
Semana2	137,55	124,6	139,33	116,88	71,67	125,37	126,37
Semana3	127,39	134,3	122,18	122,98	116,05	131,88	129,74
Promedio	131,07	133,57	136,2	126,85	103,79	126,34	128,67

3.3.2 Mes del año

La influencia de los meses del año, se verificó a partir del consumo promedio mensual. En la práctica no se contó con las mediciones de consumo mensual en el edificio #3, pero se pudo comprobar que para las tres semanas monitoreadas, el consumo de este edificio representó un 10% del consumo total en la residencia. Este resultado permitió aplicar una heurística en la estimación de los consumos promedios mensuales en el edificio, de manera que en la última fila de la tabla 3.2 se muestran los valores que puede tomar la expresión *Valor_representativo(Mes del año)*.

Tabla 3. 2. Consumo promedio mensual de energía eléctrica en el edificio #3.

Mes	Consumo promedio mensual en la residencia (kWh)	Consumo promedio mensual en el edificio #3 (kWh)
Enero	932,58	93,258
Febrero	877,55	87,775
Marzo	844,09	84,409
Abril	782,8	78,28
Mayo	838,71	83,871
Junio	872,33	87,233
Julio	726,45	72,645
Agosto	630,74	63,074
Septiembre	995,23	99,523
Octubre	700	70
Noviembre	1002,6	100,26
Diciembre	815,77	81,577

3.3.3 Menú del comedor

Para caracterizar esta variable, se entrevistaron 100 estudiantes con el fin de clasificar los menús ofertados durante 35 días de monitoreo. De la entrevista con los estudiantes y de un análisis posterior, se clasificó el menú en bueno y malo, en el anexo 10 se puede ver una muestra de las clasificaciones anteriores. Los valores que puede tomar

la expresión $Valor_representativo(Menú\ del\ comedor)$, se muestran en la última fila de la tabla 3.3.

Tabla 3. 3. Consumo promedio de energía eléctrica el edificio #3 (según menú del comedor).

Tipo de menú	
Malo	Bueno
123,64	141,81
121,78	122,18
129,91	140,69
128,28	134,3
147,1	121,88
124,6	116,88
139,33	71,67
128,87	102,39
125,37	122,98
128,25	116,05
134,73	126,37
134,03	137,55
113,48	138,4
131,88	127,39
129,74	130,55
120,58	121,12
112,51	104,79
119,91	141,81
123,64	
Promedios	
127,44	122,18

3.3.4 Cantidad de estudiantes por días

Esta variable tiene un tratamiento distinto porque la normalización no se hace atendiendo a los valores de consumo de energía eléctrica. En realidad la constante $Valor_máximo$ toma el valor 194, que es la cantidad máxima de estudiantes que puede habitar el edificio #3 durante un día (actualmente). Los valores que puede tomar la expresión $Valor_representativo(Cantidad\ de\ estudiantes\ por\ días)$, se muestran en la primera columna del anexo 11.

3.3.5 Consumo de energía eléctrica

La expresión *Valor_representativo(Consumo de energía eléctrica)* puede tomar todos los valores que se muestran en la segunda columna del anexo 11.

Excepto la variable *Cantidad de estudiantes por días*, todas las otras centran su normalización a partir de las relaciones con el consumo de energía eléctrica. Esta última variable mencionada, es la dependiente en el modelo propuesto y por tal razón la que será predicha a partir de la explicación que aportan las variables no eléctricas.

3.4 Perfiles de consumo de energía eléctrica

Para encontrar estos perfiles, fue necesario calcular los coeficientes A_i de la ecuación (3.1), y precisamente se logró mediante la aplicación del Método de los Mínimos Cuadrados, explicado en el epígrafe 1.6.3.2.

3.4.1 Perfil diario

Este perfil se logró aplicando el MMC a los datos mostrados en el anexo 12, es decir, las cinco variables del modelo (ya normalizadas). El procesamiento de los datos se realizó mediante el software SPSS 15.0 para Windows; y básicamente se obtuvo toda la estadística de la regresión lineal múltiple. En la tabla 3.4 se muestra el resumen del modelo.

Tabla 3. 4. Resumen del modelo de regresión lineal múltiple.

Coeficiente de correlación (R)	Coeficiente de determinación (R^2)	Coeficiente de determinación corregido	Error de estimación
0,719	0,516	0,452	0,0048

El coeficiente de correlación (R), tiene un valor de 0,719; y esto indica que la relación lineal entre las cinco variables es buena, aunque no posee una fortaleza excelente ya que su valor no se encuentra en el rango (0,9; 1). El coeficiente de determinación (R^2),

indica el porcentaje de la variación total que explicó la regresión. Su valor es igual a 0,516 y aunque no es excelente, supera el valor 0,5; razón por la cual se puede aceptar el modelo y verificar su validez. El error cometido en la estimación de R es aceptable, su valor es igual a 0,0048 y expresa una representación confiable del coeficiente de correlación poblacional.

La relación funcional entre las variables se expresa en el siguiente modelo, cuyos coeficientes A_i se calcularon mediante el MMC:

$$\hat{y} = -0,03 + 0,301X_1 - 0,583X_2 + 1,371X_3 + 0,019X_4 \quad (3.3)$$

Para la validación del modelo de regresión, se verificó la hipótesis de linealidad del mismo, la cual se aceptó porque el valor calculado es mayor que el valor tabulado ($8,005 > 0,0001$). La conclusión final es que se puede utilizar el modelo para realizar predicciones futuras del consumo de energía eléctrica a partir del comportamiento de las variables no eléctricas.

3.4.2 Perfil semanal

Para encontrar los perfiles semanales de consumo de energía eléctrica, es prudente realizar predicciones diarias y luego sumarlas. La justificación de esta alternativa se debe al carácter aleatorio de las variables explicativas del modelo, es mejor abordar el comportamiento diario porque expresa una mejor caracterización del fenómeno físico del consumo en la residencia estudiantil.

3.5 Modelos de predicción basados en una sola variable explicativa

El coeficiente de determinación calculado en el epígrafe 3.3.1, no brinda una total confiabilidad para el modelo representado por la ecuación (3.3), este resultado indica que se debe aumentar el tamaño de la muestra escogida para la identificación del modelo (trabajar con más datos que permitan establecer un histórico de los consumos de energía eléctrica y de las otras variables definidas). En este trabajo se investigó la

relación entre el consumo de energía eléctrica y cada una de las variables no eléctricas (de manera independiente).

3.5.1 Relación entre el consumo de energía eléctrica y cantidad de estudiantes

Inicialmente se desarrolló una regresión lineal simple, como caso particular del modelo de regresión explicado en el epígrafe 1.6.3.1. El coeficiente de correlación calculado, no explicó una mejora en el ajuste de la relación, razón por la cual se realizó un ajuste cuadrático entre los datos de ambas variables. Por último se desarrolló un modelo logarítmico que resultó ser el mejor ajuste parcial para la relación funcional entre las variables. La tabla 3.5 muestra toda la estadística de los ajustes realizados.

Tabla 3. 4. Resumen del modelo de regresión lineal múltiple.

Tipo de ajuste	Coefficiente de correlación	Coefficiente de determinación
Lineal	0,583	0,340
Cuadrático	0,586	0,344
Logarítmico	0,588	0,346

Las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 muestran diagramas de dispersión donde se puede observar el ajuste realizado para cada uno de los casos que se presentan en la tabla anterior.

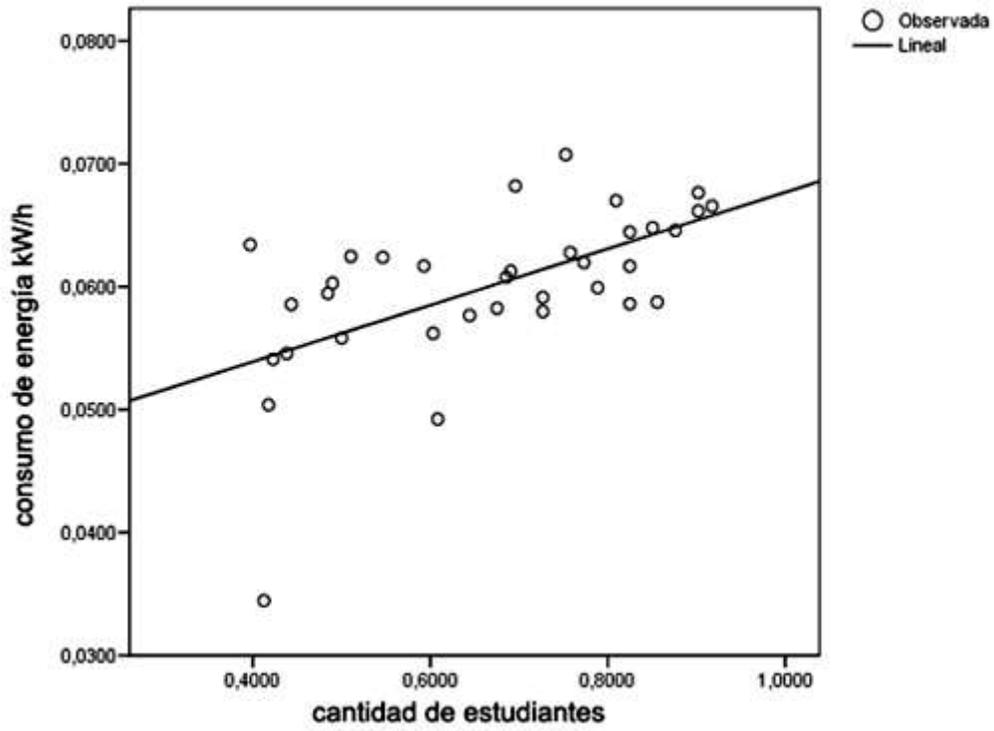


Fig. 3.1 Ajuste lineal entre las variables.

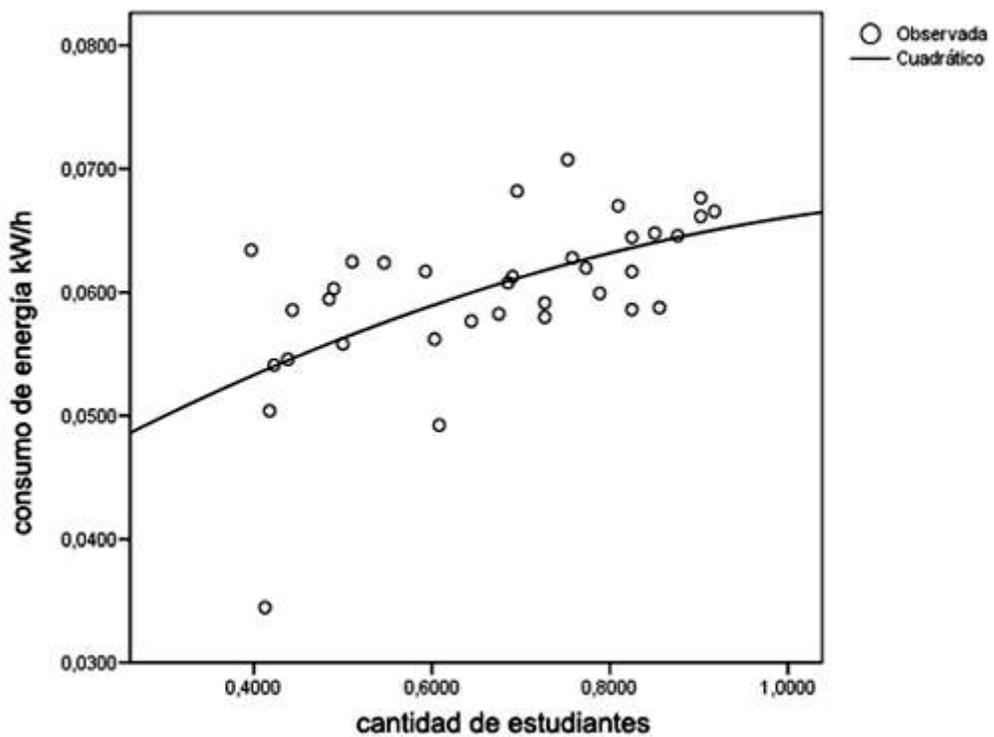


Fig. 3.2 Ajuste cuadrático entre las variables.

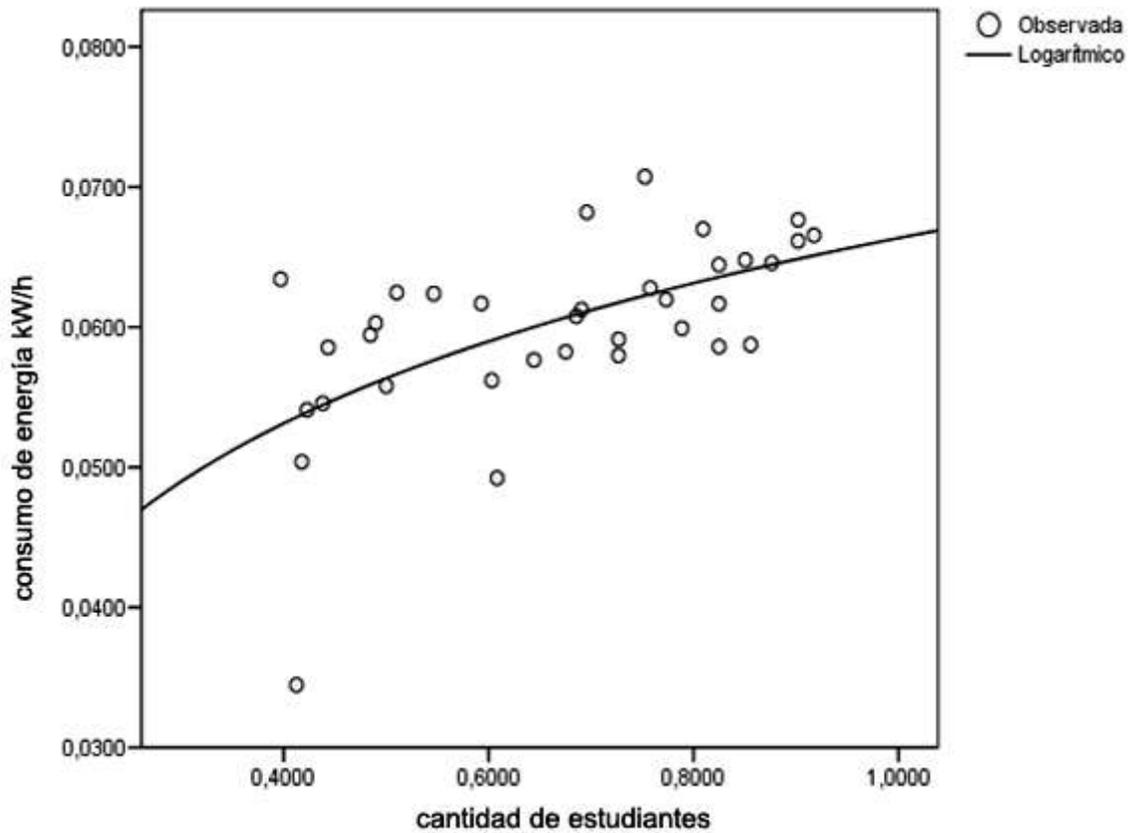


Fig. 3.2 Ajuste logarítmico entre las variables.

3.6 Herramienta de predicción del consumo de energía eléctrica

La herramienta propuesta se muestra en la figura 3.3, la misma se compone de tres partes fundamentales: medición de variables, sistema de información en tiempo real y por último, la identificación del modelo. Aunque se integran varias tecnologías en cuanto a equipamiento y aplicaciones informáticas empleadas, resulta viable su utilización ya que la mayoría de estas tecnologías están a disposición del centro.

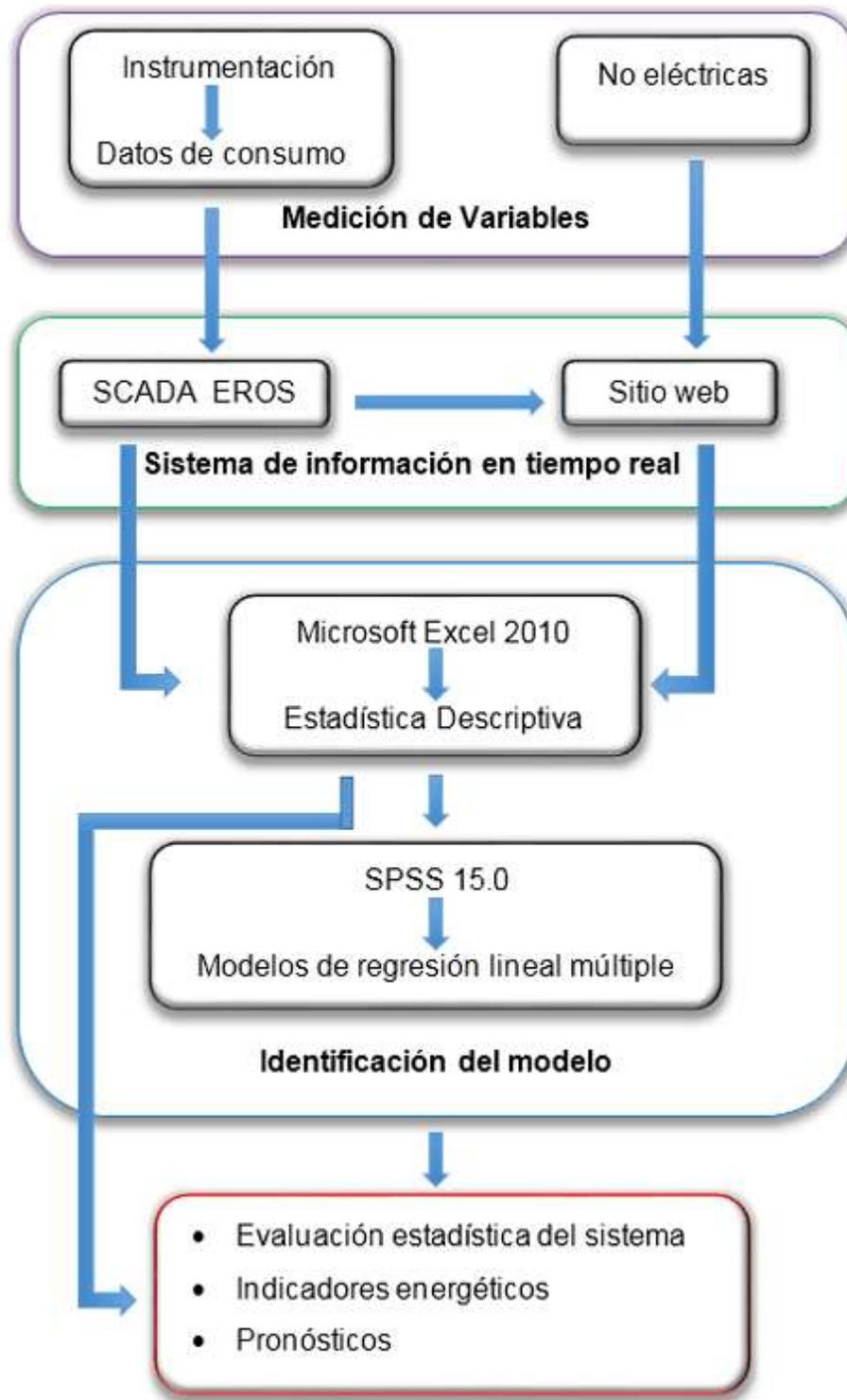


Fig. 3.3 Esquema en bloques de la herramienta propuesta.

Conclusiones

1. Se logró implementar un sistema de información en tiempo real que permite la supervisión de variables eléctricas vía web a partir del SCADA EROS. De esta manera se logra el acceso a la base de datos a través de la intranet del ISMM, lo cual constituye un avance para la toma de decisiones con vista a mejorar el sistema de gestión energética del ISMM.
2. Se logró calcular el indicador de consumo del edificio #3 dando como resultado 1,02 kWh/est.día, así como el porcentaje que representa el consumo de energía eléctrica del edificio #3 con respecto al banco de transformadores de la residencia, arrojando como resultado final un 10%.
3. Se caracterizó el comportamiento de las principales variables eléctricas por horas y días de la semana, lo que permitió confeccionar perfiles diarios y semanales sobre el consumo de este tipo de portador para el edificio #3.
4. Se identificó un modelo de predicción basado en la regresión lineal múltiple, donde la variable consumo de energía eléctrica se subordinó a las variables no eléctricas. Mediante esta relación se caracterizó la influencia de los niveles de actividad de los estudiantes en el edificio #3. El coeficiente de correlación lineal múltiple (R) igual a 0,719; indica una buena relación entre las variables mencionadas en el epígrafe 3.1. Sin embargo, la utilización de dicho modelo con carácter predictivo, no puede establecerse como herramienta final porque R no se encuentra en el rango (0,94:1). Este intervalo es el deseado en la práctica y equivale a un coeficiente de determinación mínimo igual a 0,9; es decir, que el 90% de las predicciones serán fiables.
5. Se creó una herramienta que permite supervisar y analizar las principales variables eléctricas además de obtener modelos de predicción para el consumo de energía eléctrica, lo cual constituye un paso de avance para el proceso gestión energética del centro.

Recomendaciones

1. Evaluar mediante la herramienta propuesta, el comportamiento del consumo de energía en todos los edificios de la residencia del ISMM para obtener el indicador de consumo de manera particularizada. Esto influye notablemente en la eficacia notablemente en la toma de decisiones de los administrativos del centro.
2. Estudiar la influencia en el consumo de energía de otras variables no eléctricas, entre ellas, la temperatura ambiente. Esta variable refleja los estados de cambios climatológicos que pudieran relacionarse mejor con el uso de calentadores y ventiladores.
3. Tomar una muestra de datos de las variables durante un periodo de tiempo que se corresponda con un curso lectivo, esto permitiría la utilización de otros métodos de predicción como son los modelos autoregresivos de medias móviles y otras variantes con base en la inteligencia artificial.

Bibliografía

1. AGUSTO FORTUNES, J. Predicción de la demanda y regímenes de explotación del circuito 21 de Moa. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Departamento de Ing. Eléctrica. Moa. 2009
2. AMADOR MARTINEZ, E. Electrotecnia Básica. La Habana: Pueblo y Educación. S.a.
3. COLECTIVO DE AUTORES (CEEMA). Gestión y economía energética. Editorial Universo Sur. Cienfuegos. Cuba.
4. JIMÉNEZ MARTÍNEZ, J. Sistema de Gestión Total de la Energía en el Instituto Superior Minero Metalúrgico. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez” .Departamento de Ing. Eléctrica. Moa. 2011.
5. GÓMEZ DE LA CALLE, M. Modelo de predicción de demanda de electricidad a largo plazo. Tesis de grado. Escuela Técnica Superior de ingeniería (ICAI). Madrid. 2010.
6. GONZÁLEZ JULÍAN, Y. Diagnóstico Energético en Áreas de Residencia del ISMM. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Departamento de Ing. Eléctrica. Moa. 2009.
7. Manual de PHP Revisado el 24 de abril de 2013.
Disponible en: www.php.net/manual/es
8. Manual de SPSS. 2003. Revisado el 11 de febrero de 2013. Disponible en:
http://www.um.es/ae/soloumu/pdfs/pdfs_manuales_spss/SPSS%20Brief%20Guide%2015.0.pdf
9. MONTERO LAURENCIO, R. Energía eléctrica en el hogar. Centro de Estudio de Energía y Tecnología Avanzada de Moa. ISMM.

10. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Sistema de Gestión de la Energía con orientación para su uso. (NC) ISO 50001. Primera edición. La Habana-Cuba. 2011.
11. ORDOÑES VARGAS, C. Metodología para la cuantificación de las pérdidas en redes de distribución de energía eléctrica. Tesis de grado. Ecuador. 2003.
12. PACHECO MARTE, D. Estructura y comportamiento actual del sistema de distribución eléctrico en el área docente del ISMMM. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Departamento de Ing. Eléctrica. Moa. 2008.
13. PÉREZ MUSTELIER, A; TORRES NOA, Y. Evaluación del Sistema de Gestión Energética de ISMM y determinación de los indicadores de consumo del portador electricidad y agua. Tesis de Grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Departamento de Ing. Eléctrica. Moa. 2006.
14. PRIETO MILLÁN, D. Estructura y comportamiento actual del sistema de distribución eléctrico en el área de la residencia del ISMM. Tesis de Grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Departamento de Ing. Eléctrica. Moa. 2008.
15. REYES LOCADIO, M. Modelo de pronóstico del consumo de energía con el uso de algoritmos genéticos. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez” .Departamento de Ing. Eléctrica. Moa. 2011.
16. REYNOZA LAMORU, M. Modernización de unidad portátil de medición. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Departamento de Ing. Eléctrica. Moa. 2012
17. RUEDAS MEJÍAS, V. M. Predicción del consumo de energía en Colombia con modelos no lineales. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad Minas. Medellín. Colombia. 2011.
18. Secretaría de Energía (SENER) en colaboración con la Agencia Internacional de Energía (AIE). *Indicadores de Eficiencia Energética en México: 5 sectores, 5 retos*. México. 2011.

19. Sitio web de GNU Revisado el 22 de abril de 2013.

Disponible en: <http://www.es.gnu.org>

20. Sitio web de JOOMLA! Revisado el 24 de abril de 2013.

Disponible en: <http://www.joomlaspanish.org/>

21. Sitio web de XAMPP Revisado el 22 de abril de 2013.

Disponible en: <http://www.apachefriends.org/es/xampp.html>

22. SPIEGEL MURRAY, R. Probabilidad y estadística, teoría y 760 problemas resueltos. Editorial Libros McGRAW-HILL. 1975. ISBN: 0-07-090922-9.

23. URIBE BLANCO, C. E.; y otros. Desarrollo de un prototipo de Unidad Central Maestra (UCM) para la automatización de centros de control de distribución.

Revisado el 22 de abril del 2013. Disponible en:

<http://www.uco.es/investiga/grupos/eatco/automatica/ihm/descargar/scada.pdf>

Anexos

Anexo 1

Tabla con la Relación de estudiantes del edificio #3

Cuarto 351	Año	Esp.	#	Procedencia
Claribeldis Nápoles	3ro	Cont.	339	S. de Tánamo
Lisandara Urgellez	3ro	Cont.	275	S. de Tánamo
Adriana Monjes Romero	2do	Cont.	409	F. País
Yasmín Pérez Ramírez	2do	Cont.	354	S. de Tánamo
Yesenia Cuello Leiva	3ro	Cont.	242	S. de Tánamo
Lisbet Segura Drigg	3ro	Inf.	286	S. de Tánamo
Eldris Mena Deboy	3ro	Cont.	193	S. de Tánamo
Eveltris Leyva Pérez	2do	Cont.	195	S. de Tánamo
Daylen Reynosa Céspedes	4to	Cont.	533	Levisa
Daymara Chapman Fonseca	3ro	C.I	771	F. País
Adriana Cazorla	4to	Cont.	113	Levisa
Yunieka Rojas Pérez	4to	Cont.	779	Levisa
Vencen Aldana Ochoa	4to	Cont.	718	Levisa
Cuarto 352	Año	Esp.	#	Procedencia
Briceida López Elías	5to	Cont.	139	Mayarí
Maria Escalona Ramírez	5to	Cont.	100	Mayarí
Yanet Torres Feliciano	5to	Cont.	09	Mayarí
Mariusca García Segura	5to	Cont.	301	Mayarí
Yaniuska García Cuenca	5to	Cont.	37	Sagua
Adiannis Herrera Gómez	5to	Cont.	364	Sagua
Yarletis Delíz Domínguez	5to	Cont.	360	Felton
Daylet Áreas Cuba	5to	Cont.	263	Mayarí
Leannis Mateo Sánchez	4to	Cont.	517	Mayarí
Roxana Medina Vorgez	4to	Cont.	594	Levisa
Marice Leyva Torres	1ro	Cont.	248	Mayarí
Cuarto 353	Año	Esp.	#	Procedencia
Yamerlis García Sáname	2do	Cont.	231	F. País
Yilian Caldera	2do	Cont.	208	Levisa
Dianelis de la Fuente Romero	2do	Cont.	249	Levisa
Yeilis Matos Matos	3ro	Inf.	236	Guantánamo
Viviana Molina	3ro	Inf.	264	Mayarí
Alisneidis Gonzáles Sánchez	1ro	Geol.	15	Mayarí
Mariela Romero Leyva	1ro	Geol.	39	Holguín
Katerine Viñal Góngora	1ro	Elect.	592	Sagua
Yelaine Rodríguez Paz	1ro	Elect.	597	Holguín
Anabel Duran Tejas	1ro	Geol.	06	Holguín
Cuarto 354	Año	Esp.	#	Procedencia
Claudia Castillo Domínguez	3ro	Inf.	763	Levisa

Dailin Peñas Pérez	1ro	Elect.	599	Las Tunas
Anabel Rodríguez González	1ro	Met.	451	Las Tunas
Yaime Fernández	1ro	Geol.	103	Santiago
Irianna Espinosa	1ro	Elect.	114	Mayarí
Rosmeri García Almira	1ro	Elect.	595	Mayarí
Thais Revés Torés	1ro	Elect.	603	Holguín
Mirianna Lugue Crea	1ro	Elect.	602	Mayarí
Cuarto 355	Año	Esp.	#	Procedencia
Arletis Falcón Despaines	1ro	C.I	619	Santiago
Sandara Maresma	1ro	C.I	210	Baracoa
Esther Fernández Roll	1ro	C.I	80	Guantánamo
Teresa Esteris Ramírez	1ro	Elect.	590	Holguín
Yaime Turiño Alonso	3ro	C.I	668	Santiago
Soelia Pantoja Gutierre	3ro	C.I	279	Santiago
Arianna Vilas Reyes	1ro	Geol.	66	Cueto
Maite Pérez Muris	3ro	C.I	569	Santiago
Marielis González Ricardo	3ro	C.I	378	Santiago
Leyanis Sánchez Herrero	3ro	C.I	616	Granma
Cuarto 356	Año	Esp.	#	Procedencia
Raiza Escamantes Cardazo	4to	C.I	524	S. de Tánamo
Yurisaidis Robles Lomate	4to	C.I	520	S. de Tánamo
Yarannis Morales	4to	C.I		Granma
Lisdanis Mora SAVEDRA	4to	C.I	135	Holguín
Odalís Gainza Lobaina	4to	C.I	137	Baracoa
Lignety Pérez la O	4to	C.I	531	S. de Tánamo
Yirlianis Bautas González	1ro	Elect.	591	Moa
Maria de Los Ángeles	4to	C.I	590	Guantánamo
Yalennis Vargas Perdomo	3ro	C.I	335	Granma
Dayamí Torres González	3ro	C.I	788	F. País
Yusmaidis Losmet Soler	3ro	C.I	682	S. de Tánamo
Aliannis García Leyva	5to	C.I	53	S. de Tánamo
Yaimaris Navarro Breff	1ro	Met.	441	Moa
Cuarto 357	Año	Esp.	#	Procedencia
Dailen Área Naranjo	5to	C.I	138	Granma
Yesica de la Vega Oduardo	5to	C.I	132	Santiago
Yissel Martínez	5to	C.I	661	Santiago
Yuresri Pompa Espinoza	5to	C.I	519	Granma
Danay Rubio Caballero	1ro	Geol.	65	F. País
Dayana Soler Arce	1ro	C.I	620	Santiago
Dunia Monjes Menencio	2do	Elect.		Holguín
Lisebell Cristia Fernandez	1ro	Geol.	117	Camagüey
Lianet Galano Cabrejas	1ro	Met.	459	F. País
Melisa Batista Pérez	1ro	Cont.	624	Levisa

Cuarto 358	Año	Esp.	#	Procedencia
Coralia Matos Quintana	1ro	Min.	155	Mayarí
Karenia Tela Revés	1ro	Min.	201	S. de Tánamo
Yusbel Cordova Batista	1ro	Geol.	70	S. de Tánamo
Merlis Cuba	1ro		162	Moa
Ancelis Asencia	2do	C.I	75	Baracoa
Maryanis Gomes Ramírez	2do	C.I	67	Guantánamo
Daile López Moraga	2do	C.I	189	Banes
Dianelis Bermúdez	2do	C.I	13	Santiago
Rosmeri Riveron Morales	2do	C.I	186	F. País
Nora Sánchez Torres	2do	C.I	194	Granma
Sulema Cortina Torres	2do	C.I	99	Mayarí
Yanet Sánchez Sánchez	2do	C.I	356	Granma
Laura Noa Robles	2do	C.I	418	Sagua
Cuarto 341	Año	Esp.	#	Procedencia
Mariela Condes Ramos	4to	E.S	422	
Sucel Guzmán Acosta	4to	E.S	419	Baracoa
Isnelis Ruedas Araujo	5to	E.S	300	Mayarí
Lenna Romero Matos	4to	C.I		Mayarí
Surisaday Guzmán	1ro	Min.	181	Cienfuegos
Lisandara López Almira	1ro	Min.	168	Mayarí
Yoania Guzmán Céspedes	5to	E.S	379	Mayarí
Rayte Alvares	5to	E.S		S. de Tánamo
Rosalía Salomón Reyes	5to	E.S	538	Mayarí
Claudia Fernández Revés	1ro	Min	163	
Gretchen Nuñes Cuenca	1ro	Geol.	59	S. de Tánamo
Maidelin Bárcenas García	1do	Geol.	118	Mayarí
Kirenia LLOYO Barrunto	1ro		74	Santiago
Cuarto 342	Año	Esp.	#	Procedencia
Marian Sánchez Romero	1ro	Mec.	291	S. de Tánamo
Yoana Medina Martínez	2do	Elect.	374	Holguín
Yainelis Rodríguez Hernández	3ro	Elect.	736	Holguín
Dianelis Hechebarrias	3ro	Elect.	401	Las Tunas
Keilan Rosa Alvares	2do	Elect.	01	Las Tunas
Rosmeri Vázquez	3ro	Elect.	133	Las Tunas
Adisleidis guzmán	3ro	Elect.	384	Holguín
Yaimaris Rojas Reyes	3ro	Elect.	97	Banes
Mirelkis Vega Rodríguez	3ro	Elect.	165	Las Tunas
Adelkis Tamayo	3ro	Elect.	746	Las Tunas
Marlen Báez Salomón	1ro	Elect.	489	Holguín
Cuarto 343	Año	Esp.	#	Procedencia
Elena Días Vila	1ro	Met.	28	Las Tunas
Tailen Trova Naranjo	2do	Met.	102	Las Tunas

Yudania Lunas Rezo	3ro	Met.	256	Santiago
Yeney Pérez Naranjo			247	Las Tunas
Rosa González Palacio	3ro	Met.	743	Santiago
Merlis Salde Claro	2do	Met.	175	Holguín
Grethel Ramón Borbón	2do	Met.	159	Camagüey
Yissel Peña Aguilar	2do	Met.	174	Santiago
Nairobi Tamayo	2do	Met		Holguín
Dariannis Rodríguez Hernández	2do	Met	83	Las Tunas
Daliana Calzadilla Rodríguez	3ro	Met.	173	Holguín
Lianet Fernandez Leyva	3ro	Met.	237	Holguín
Cuarto 344	Año	Esp.	#	Procedencia
Yesenia Rodríguez Martínez	2do	Cont.		Mayar
Odalís Anches Fernandez	4to	Geol.	198	S. de Tánamo
Ayda Nieves	4to	Geol.	509	Baracoa
Ollanna Reverón Guerra	4to	Geol.	653	Camagüey
Yusmari Vargas Cabrera	1ro	Min.	185	Santiago
Dayanet Hernández Ponpin	1ro	Geol.	64	Holguín
Dianelis Lavañino Leyva	1ro	Geol.	62	Holguín
Claudia de La Cruz Rodríguez	1ro	Geol.	61	Banes
Yoania Días	5to	Geol.		Holguín
Karen Reyes Suaid	1ro	Geol.	19	Santiago
Susel Llorente LLanes	2do	Geol.	270	Santiago
Danaysi Fontaine Menedes	2do	Elect.	322	Las Tunas
Cuarto 345	Año	Esp.	#	Procedencia
Melinda Almira Castillo	2do	Mec.	40	Mayarí
Tania Meléndez Lort	2do	Mec	02	Mayarí
Dora Laffita Gómez	2do	Elect.	742	Felton
Nora Lavañino Jiménez	3ro	Mec.	42	Moa
Dayana Urgelles Columbie	2do	Mec.	104	Baracoa
Yanisleidis Cardoso Meriño	2do	Geol.	253	Santiago
Yudenia Montes Borroto	2do	Met.	178	F. País
Lilibet Rivera Lourdes	2do	Min.	17	Baracoa
Naylan Batista Albares	5to	Min.	120	Nicaró
Marianna Serrano Pérez	2do	Geol.	261	Holguín
Cuarto 346	Año	Esp.	#	Procedencia
Yalianis Fernandez Fernandez	2do	Geol.	323	Santiago
Yaritza López	3ro	Geol.	128	Camagüey
Diana Colmenero Rulo	3ro	Geol.	434	Santiago
Lellanis Quiala revés	3ro	Geol.		Moa
Yulaidis Castillo Revés	3ro	Geol.	487	Guantánamo
Susel González López	3ro	Geol.	498	Marcané
Aliannis Pérez Gomes	3ro	Geol.	390	Ciego de Ávila
Dayana Leyva Lavañino	3ro	Geol.	735	Camagüey

Marlen Delgado Lito	3ro	Geol.	23	Moa
Isabel Herrera Delfín	3ro	Geol.	626	Santiago
Marlen Torres Beltrán	3ro	Geol.	512	Mayarí
Cuarto 347	Año	Esp.	#	Procedencia
Lisandara Pino Chaneco	2do	Elect.	333	Felton
Melinda Rondón	3ro	Min.	566	Mayarí
Virgen Batista Sáname	1ro	Geol.	122	Mayarí
Bárbara Verdecia	2do	Min.	606	Camagüey
Ana Beatriz Parra	3ro	Min.	202	Holguín
Yurema Giro Verdecia	3ro	Min.	457	Guantánamo
Malena Reynosa	2do	Geol.	254	Santiago
Yainelis Carmenates	3ro	Min.	732	Camagüey
Idir Carmenate Calderón	3ro	Min.	426	La Habana
Yoania Silva Cusa	2do	Mec.	115	Mayarí
Cuarto 348	Año	Esp.	#	Procedencia
Isieri León Aguilar	2do	Met.	16	Las Tunas
Clara Milena Cusa	2do	Met.	89	Mayarí
Maite Borges	2do	Met.	101	Santiago
Giannis Almeida Espinosa	2do	Met.	85	V. Clara
Aile Fuentes Meriño	1ro	Met.	182	F. País
Yordanka Verdecia González	2do	Met.	87	V. Clara
Wendi Pérez Abreu	1ro	Met.	467	V. Clara
Katia Pupo	1ro	Met.	429	Mayarí
Yuraini Galindo Medina	1ro	Met.	436	V. Clara
Yunari Galindo Medina	1ro	Met.	438	V. Clara
Mayrelis Romero	1ro	Met.	430	Las Tunas
Arianna Curo Cuadra	1ro	Mec.	326	Guantánamo
Cuarto 338	Año	Esp.	#	Procedencia
Patricia F Mutica	1ro	Min.		Extranjeros
Almira Irina Lose	1ro	Geo.		Extranjeros
Luquenia Luenba	1ro	Min.		Extranjeros
Eleane Vicente	1ro	Min.		Extranjeros
Cuarto 337	Año	Esp.	#	Procedencia
Candu Mansule	1ro	Min.		Extranjeros
Fransisca Bister	1ro	Min.		Extranjeros
Ponbite Hschembule	1ro	Met.		Extranjeros
Clotilde Handira	1ro	Min.		Extranjeros
Custodio Dourencia	1ro	Min.		Extranjeros

Anexo 2

Tabla para la realización del gráfico de Pareto

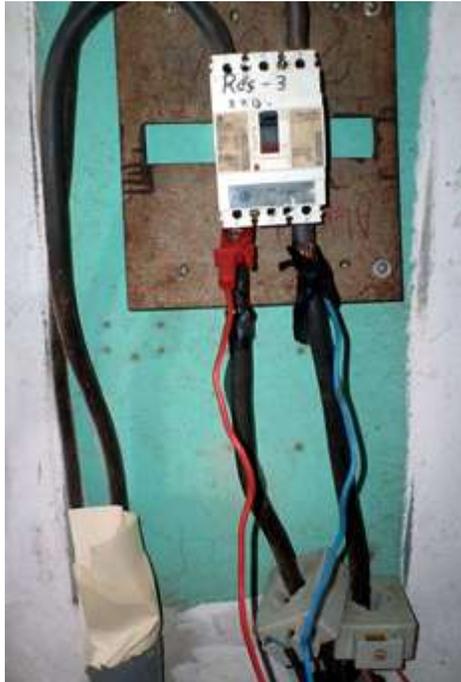
Equipos	Potencia activa (kW)
Equipos de cocina	59.200
Lámparas	3.720
Televisores	1.395
Ventiladores	1.960
Equipo de música	0.800
Calentadores	17.000
Refrigeradores	0.170
DVD	0.075
Laptop	2.325

Anexo 3



UPM conectada al breaker de la residencia #3 del ISMM.

Anexo 4



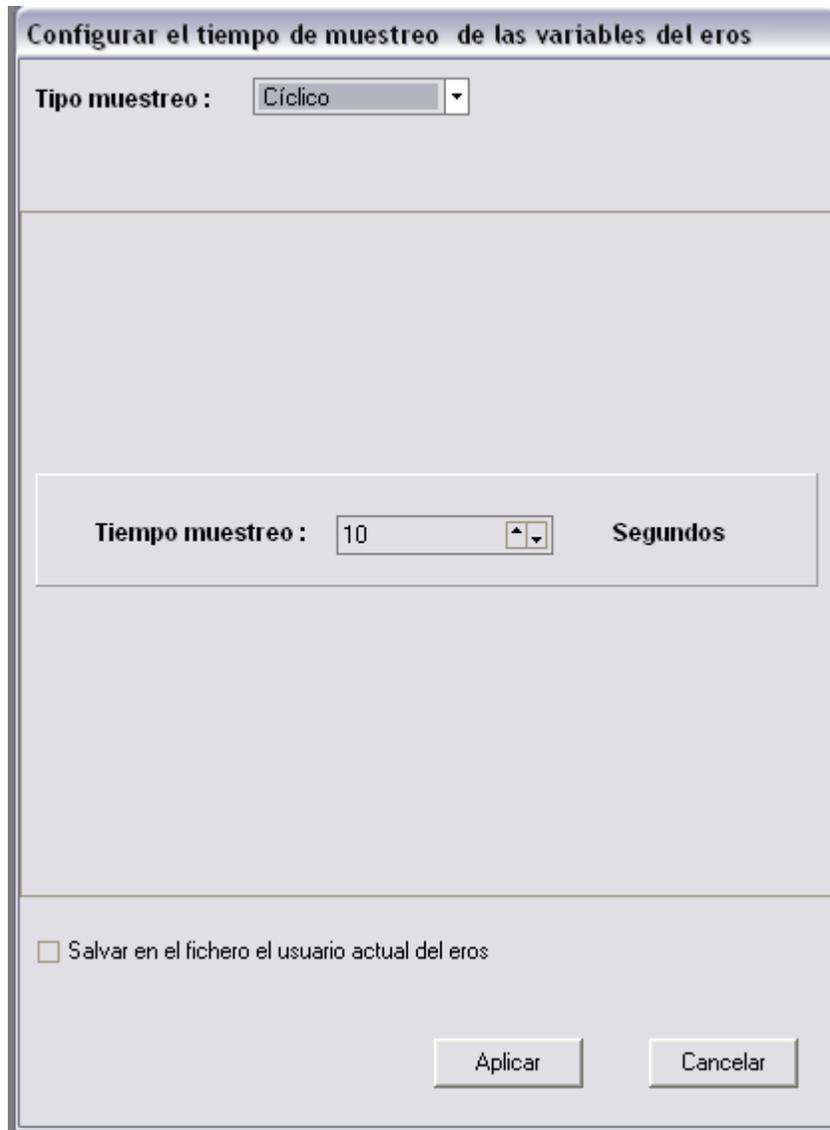
Conexión de los transformadores de corriente en el breaker #3.

Anexo5



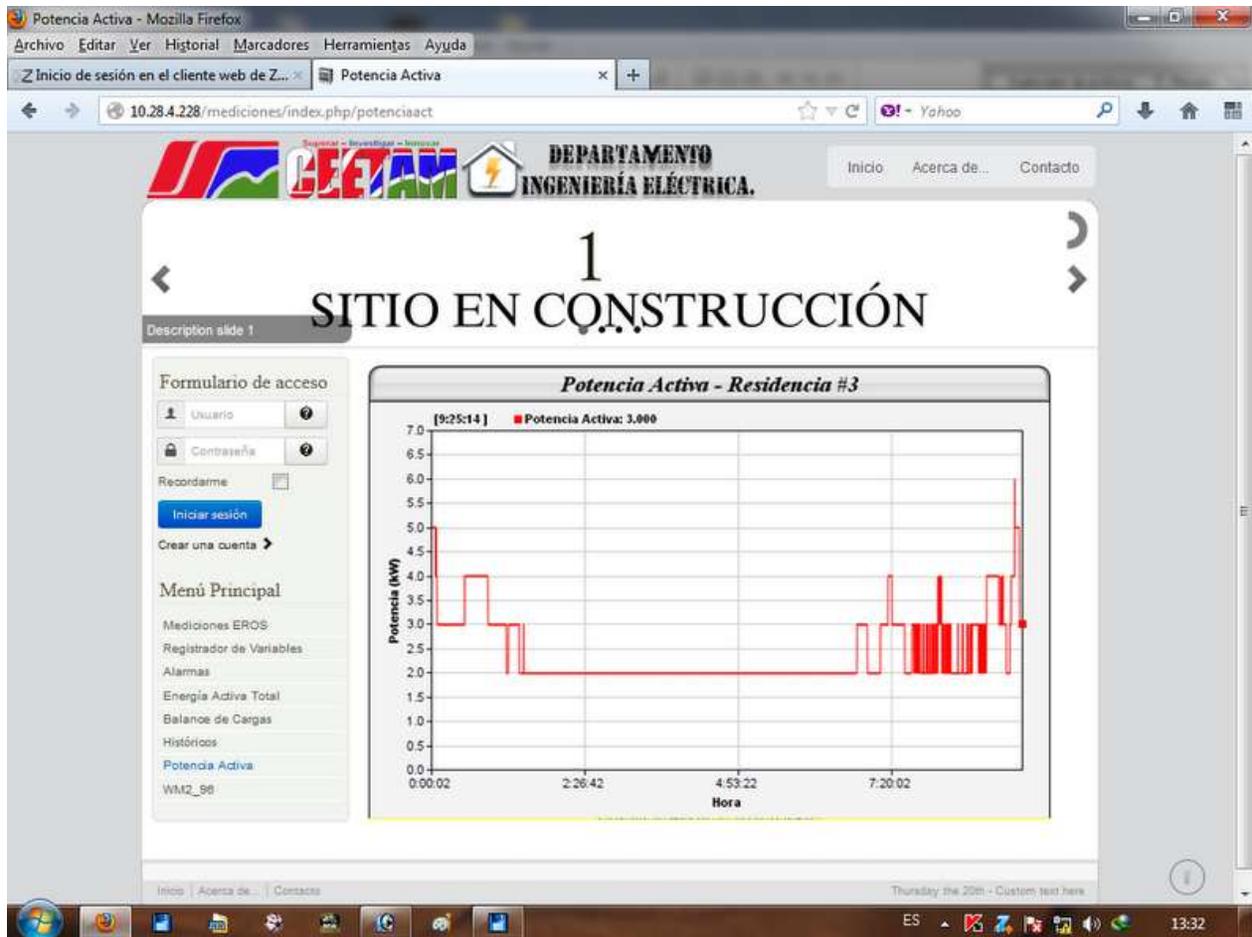
Unidad portátil de medición empleada para las mediciones eléctricas

Anexo 6



Configuración del tiempo de muestreo de las variables en el programa TXTexport.exe

Anexo 7



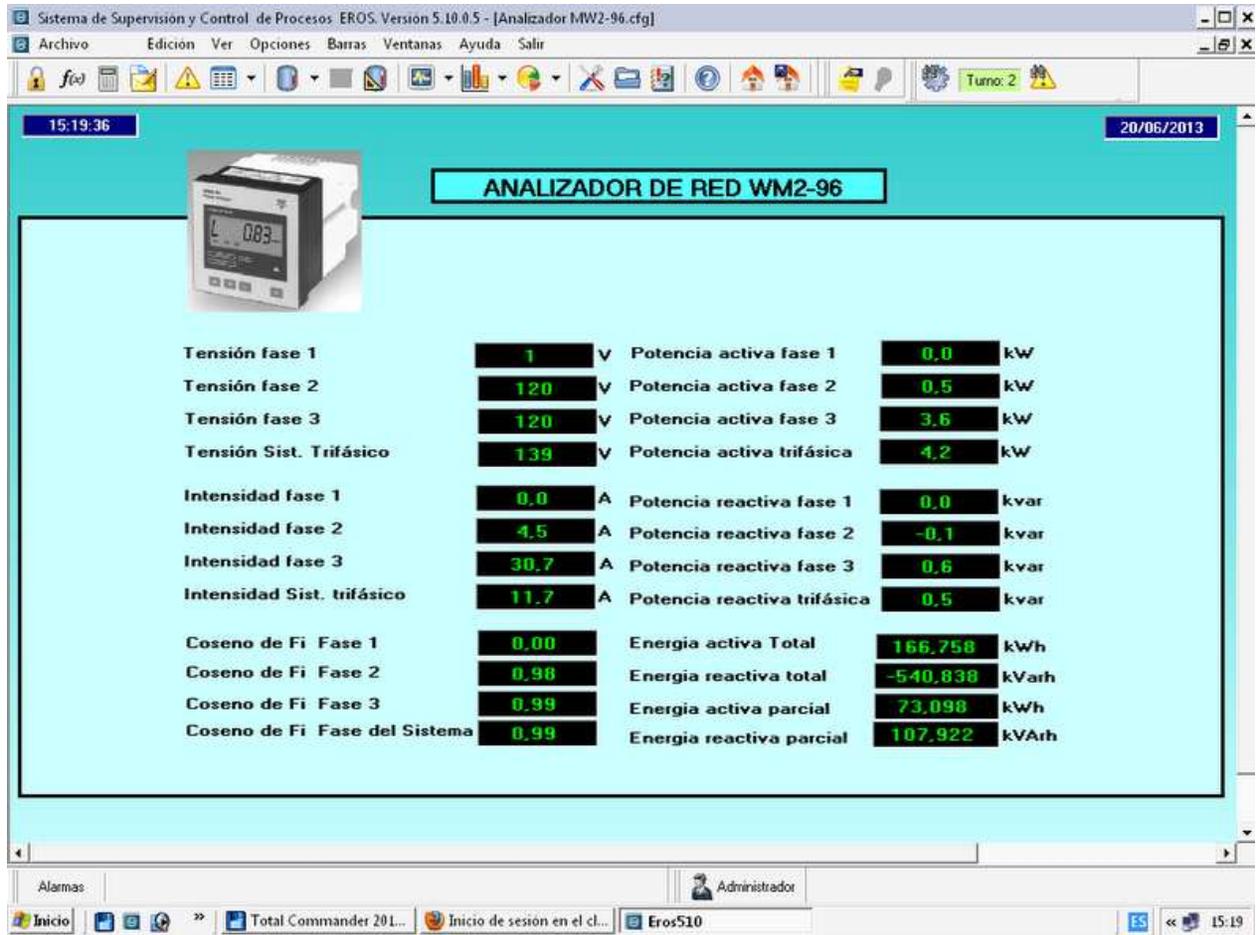
Captura del navegador web con la visualización de la potencia activa medida en tiempo real.

Anexo 8



Captura del navegador web con la visualización de todas las variables eléctricas medidas.

Anexo 9



Captura del SCADA EROS con la visualización de todas las variables eléctricas medidas.

Anexo 10

Tabla con la clasificación de la calidad del menú observado durante varios días.

Menú del comedor	Clasificación
Día 1	
Huevo frito	Malo
Arroz Blanco	
Boniato	
Pan	
Refresco	
Día 2	
Picadillo MDM	Malo
Moros y cristianos	
Boniato	
Pan	
Día 3	
Revoltillo natural	Malo
Moros y cristianos	
Sopa de Chícharo	
Plátano burro	
Día 3	
Mortadella en salsa	Bueno
Moros y cristianos	
Sopa	
Calabaza	
Pan	
Refresco	
Día 4	
Pollo guisado	Bueno
Arroz Blanco	
Sopa de pollo	
Yuca	
Pan	
Día 5	
Salchichas	Bueno
Arroz Amarillo	
Sopa de picadillo	
Fufú de plátano burro	
Yogur natural	

Anexo 11

Tabla de consumo y cantidad de estudiante.

Cantidad de estudiantes	Consumo de energía eléctrica (kWh)
94	123,64
86	121,78
99	129,91
115	128,28
135	141,81
146	147,1
153	124,6
157	139,33
166	122,18
175	140,69
170	134,3
160	121,88
117	116,88
80	71,67
118	102,39
150	128,87
141	122,98
97	116,05
95	125,37
133	126,37
175	137,55
178	138,4
160	128,25
165	134,73
160	134,03
125	119,91
85	113,48
77	131,88
106	129,74
134	127,39
141	120,58
147	130,55
131	121,12
82	112,51
81	104,79

Anexo12

Tabla con los datos de las variables normalizadas.

Consumo (kWh)	Día de la semana	Cantidad de estudiantes	Calidad del menú del comedor	Mes del año
0,0594	0,0495	0,4845	0,0615	0,0376
0,0585	0,06	0,4432	0,0615	0,0376
0,0624	0,0616	0,5103	0,0615	0,0376
0,0616	0,063	0,5927	0,0615	0,0376
0,0681	0,064	0,6958	0,0587	0,0376
0,0707	0,0654	0,7525	0,0615	0,0376
0,0599	0,064	0,7886	0,0615	0,0376
0,0669	0,0654	0,8092	0,0615	0,0376
0,0587	0,0654	0,8556	0,0587	0,0403
0,0676	0,0606	0,9020	0,0587	0,0403
0,0645	0,064	0,8762	0,0587	0,0403
0,0586	0,0654	0,8247	0,0587	0,0403
0,0562	0,0606	0,6030	0,0587	0,0403
0,0344	0,0495	0,4123	0,0587	0,0403
0,0492	0,064	0,6082	0,0587	0,0403
0,0619	0,0654	0,7731	0,0615	0,0403
0,0591	0,0606	0,7268	0,0587	0,0403
0,0558	0,0495	0,5	0,0587	0,0403
0,0602	0,06	0,4896	0,0615	0,0403
0,0607	0,0616	0,6855	0,0587	0,0403
0,0661	0,063	0,9020	0,0587	0,0403
0,0665	0,064	0,9175	0,0587	0,0403
0,0616	0,0654	0,8247	0,0615	0,0403
0,0647	0,064	0,8505	0,0615	0,0403
0,0644	0,0654	0,8247	0,0615	0,0403
0,0576	0,0606	0,6443	0,0587	0,0403
0,0545	0,0495	0,4381	0,0615	0,0403
0,0634	0,06	0,3969	0,0615	0,0419
0,0623	0,0616	0,5463	0,0615	0,0419
0,0612	0,063	0,6907	0,0587	0,0419
0,0579	0,064	0,7268	0,0615	0,0419
0,0627	0,0654	0,7577	0,0587	0,0419
0,0582	0,0606	0,6752	0,0587	0,0419
0,0541	0,0495	0,4226	0,0615	0,0419
0,0503	0,06	0,4175	0,0587	0,0419

