

**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**



Unidad Académica de INGENIERIA  
Sede La Maná



**UNIVERSIDAD DE GRANMA**

Facultad de Ingeniería

**TRABAJO DE DIPLOMA PARA OPTAR POR  
EL TÍTULO DE: INGENIERO  
ELECTROMECHANICO**

**TITULO:**“Diagnóstico Operacional De Los Motores Eléctricos  
Principales En La Universidad De Granma Cuba”

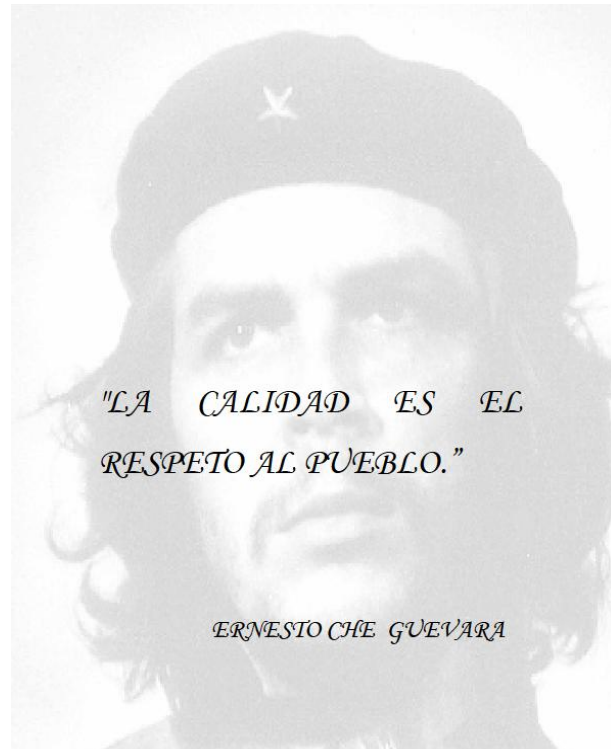
**AUTOR:** Wilson Geovanny Caiza Yanez

**TUTOR:** Dr.C Edilberto Antonio Llanes Cedeño

*“Año 53 de la Revolución”*

**CURSO ACADEMICO 2010 - 2011**

---



*"LA CALIDAD ES EL  
RESPECTO AL PUEBLO."*

*ERNESTO CHE GUEVARA*



- *A mi Madre por estar siempre a mi lado*
  
- *A mi Padre por su apoyo incondicional*
  
- *A mis Hermanitas por su amor y dedicación*

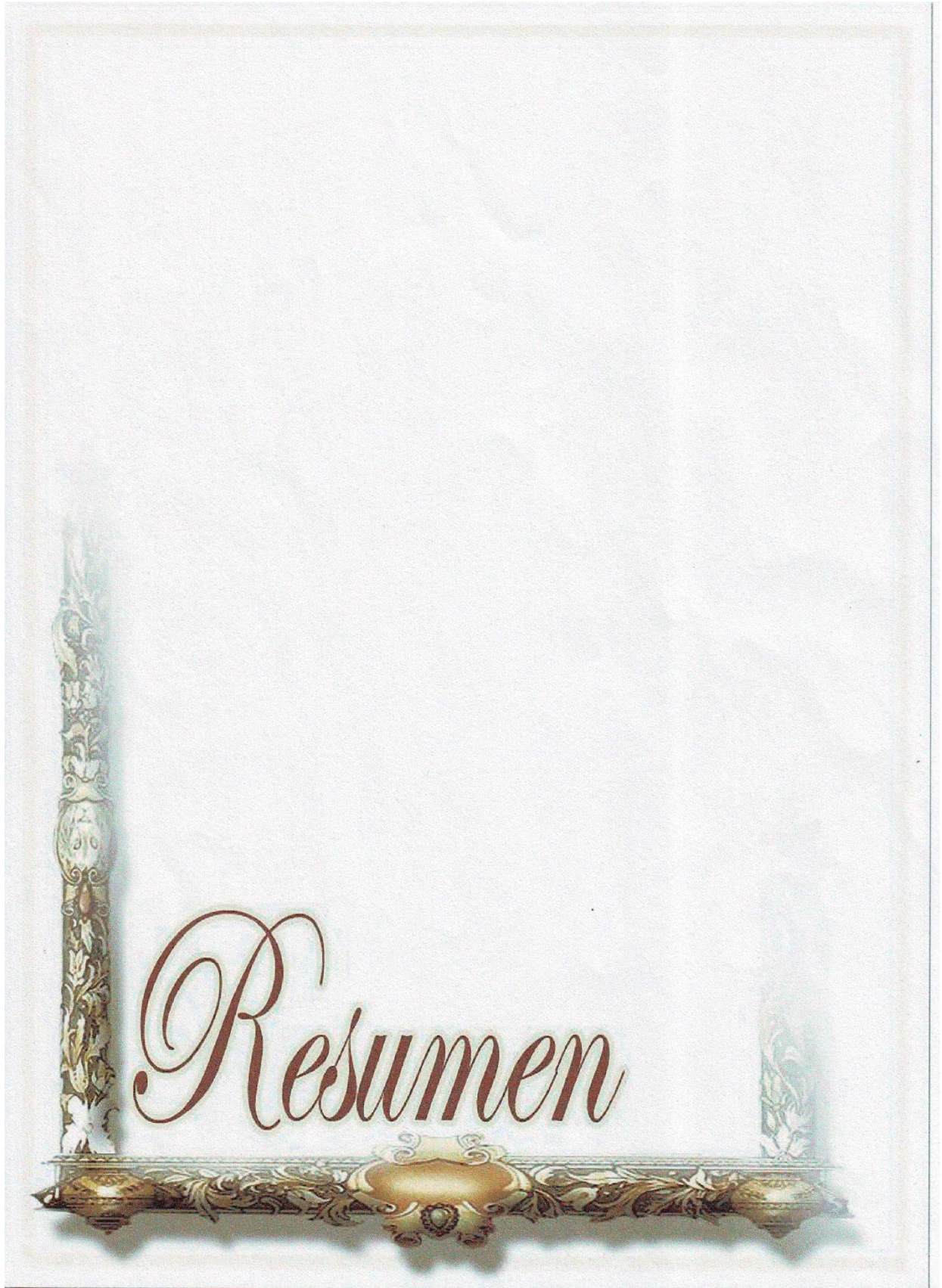


El resultado de este Trabajo quiero agradecerlo, de manera muy especial a personas que contribuyeron a la realización del mismo:

- A Dios por protegerme y conducirme por buenos senderos
- A mi tutor Dr C. Edilberto Antonio Llanes Cedeño por su ayuda y apoyo incondicional.
- A mi Patria por darme la posibilidad de superarme
- A los profesores por que sin su ayuda no hubiera llegado hasta aquí.
- A mis amigos que están a mi lado siempre que los necesito.

*A todos muchas gracias*

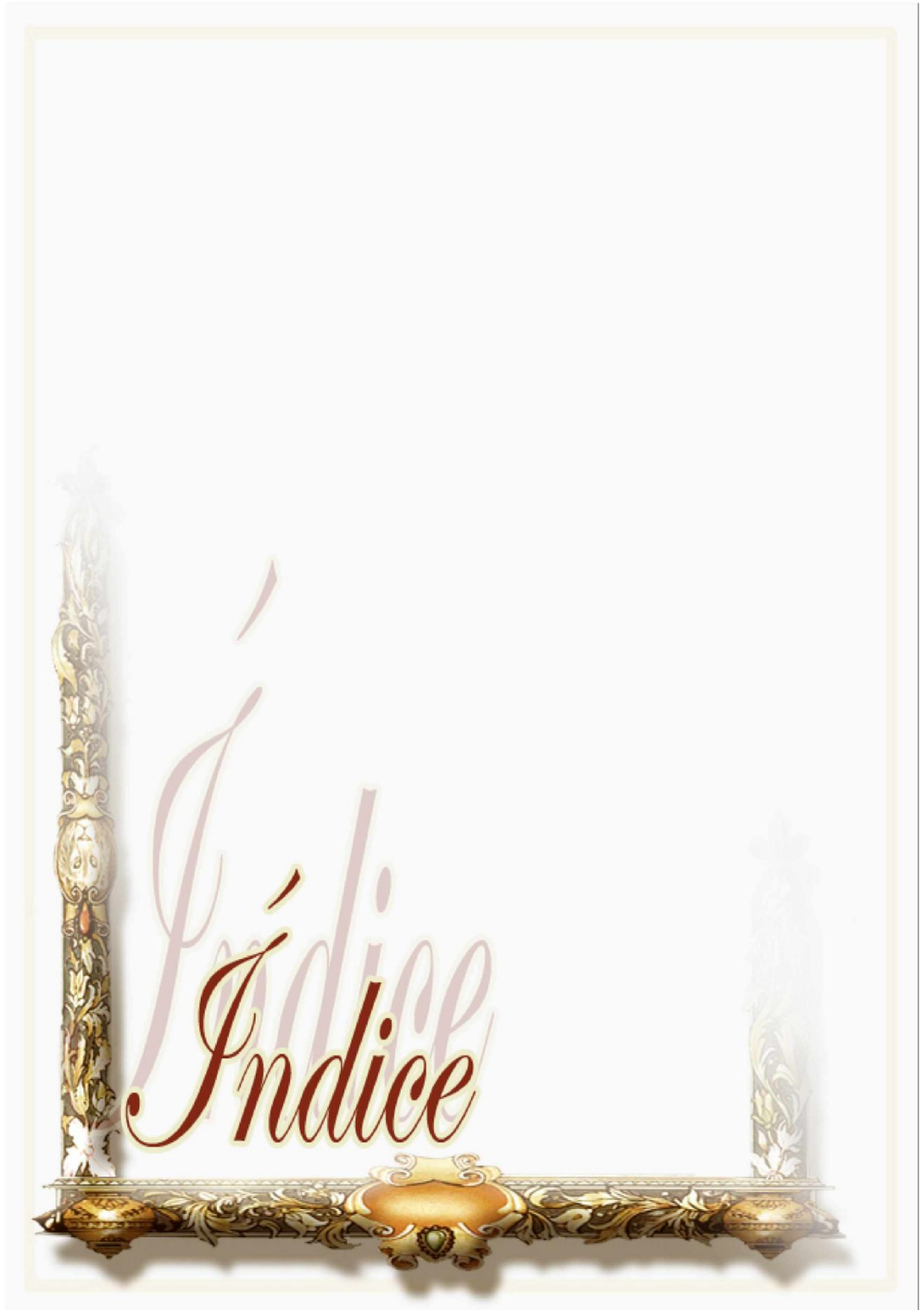




## **RESUMEN**

El siguiente trabajo fue desarrollado en la Universidad de Granma Cuba, con el objetivo de: Evaluar el funcionamiento a partir del estudio en situ para los motores eléctricos principales de la Universidad de Granma Cuba, en el mismo se realizan mediciones a los motores eléctricos más representativos en el consumo para lo cual fue necesario aplicar métodos de investigación teóricos (análisis, síntesis e inducción) e empíricos (criterio de expertos, observación, medición y experimentación). Los resultados arrojaron que las áreas más representativas fueron: Bombeo de agua, Transporte y Mantenimiento, donde los motores de las Bomba 1 y 2, Torno y Sierra fueron los de mayor consumo energético. En todos los casos el factor de potencia durante el funcionamiento se comportó por debajo de lo especificado en la chapa (promediando 0.7) y por ende de lo exigido por la empresa eléctrica para la no penalización (0.92). Se relacionan una serie de deficiencia que con poco esfuerzo se pueden erradicar.

---



<b>INDICE</b>	<b>Pag.</b>
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	1
<b>II. DESARROLLO</b> .....	3
<b>CAPITULO I: FUNDAMENTACIÓN ACTUAL DEL TEMA</b> .....	3
1.1 Panorama Energético Actual.....	3
1.1.1 Panorama Energético en Cuba.....	6
1.1.1.1 La gestión de la energía en centros educativos de Cuba.....	7
1.1.1.2 Políticas Nacionales de la República de Cuba acerca del control energético en centros educativos.....	8
1.2 Principales características de los motores eléctricos empleados en la industria y el servicio.....	9
1.2.1 Calidad de Energía Eléctrica.....	13
1.2.2 Factor de potencia.....	15
1.2.2.1 Métodos de corrección del factor de potencia.....	15
1.2.2.2 Determinación del factor de potencia en una instalación industrial.....	18
1.2.2.3 Importancia del factor de potencia.....	21
1.3 Automatización del mando en los motores eléctricos. ....	22
1.4 Análisis de los indicadores de la energía eléctrica en la Universidad de Granma (UDG).....	25
<b>CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS</b> .....	27
2.1 Características técnicas, energéticas de los sistemas y equipos de uso de la energía eléctrica en la UDG.....	27
2.2 Determinación de las principales áreas y motores eléctricos que consumen energía eléctrica.....	27
2.3 Evaluación del funcionamiento de los motores eléctricos principales...	28
2.3.1 Metodología para el cálculo del factor de potencia.....	33
2.4 Causas posibles en el deficiente funcionamiento de los motores eléctricos.....	33

---



<b>CAPITULO III PRESENTACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
3.1 Diagnóstico energético de las principales áreas y motores eléctricos consumen energía eléctrica.....	34
3.2 Comportamiento del funcionamiento de los motores eléctricos principales.....	36
3.3 Causas posibles en el deficiente funcionamiento de los motores eléctricos.....	38
3.4 Valoración económica.....	40
<b>III CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>IV RECOMENDACIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>V REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>43</b>
<b>VI ANEXOS.....</b>	<b>45</b>

---

## I. INTRODUCCION

Los motores eléctricos son los equipos más ampliamente difundidos para el accionamiento de mecanismos, formando parte integrante en muchos de los casos de equipamientos ampliamente utilizados en la industria e instituciones con vista a prestar un servicio en específico. De una buena selección hasta una correcta explotación y mantenimiento depende la eficiencia de las entidades. Según Borroto et al (2002), plantea que en muchos casos se especifica que el motor eléctrico sea de alta eficiencia, ya que el costo inicial se recuperara típicamente en corto tiempo a partir de los resultados del ahorro de energía.

La reducción de los costos asociados con el consumo de energía eléctrica y con las inversiones capitales en los equipos eléctricos utilizados en las instalaciones industriales y de servicios, resulta imprescindible en la situación actual de la economía de nuestro país. Esta necesidad resulta potenciada por el impacto medioambiental de las tecnologías energéticas.

Varias son las medidas de mayor oportunidad para el ahorro en sistemas eléctricos de empresas industriales o de servicios. Entre las principales están:

- Mejora del factor de potencia
- Control de la demanda máxima y del consumo de energía eléctrica
- Desconexión de motores eléctricos y transformadores trabajando en vacío
- Selección adecuada de la potencia de los motores eléctricos
- Uso de motores y de transformadores de alta eficiencia
- Aplicación de accionamientos eficientes
- Operación económica de transformadores
- Selección adecuada de la potencia de los transformadores
- Reparación eficiente de las máquinas eléctricas
- Incremento del voltaje nominal de operación de los motores

Otras medidas que también conducen al ahorro, como la ubicación adecuada de los centros de carga, la selección correcta del calibre de los conductores o la determinación de los niveles óptimos de voltaje en la planta, suelen requerir de importantes remodelaciones e inversiones que, salvo en el caso de nuevas instalaciones o ampliaciones, resultan difíciles de implementar o, en muchos casos, no son rentables.

La selección adecuada de la potencia del motor para un mecanismo industrial dado, tiene especial importancia. Un motor mal seleccionado, con capacidad insuficiente, disminuye su vida útil y puede conducir a una probable incapacidad para cumplir los requerimientos tecnológicos que el mecanismo impone al accionamiento; y, por otra parte, si está sobredimensionado, se encarece la inversión inicial y su operación puede ser a valores de eficiencia inferior al que puede alcanzarse con una adecuada selección. Además, si el motor es asíncrono, da lugar a un brusco empeoramiento del factor de potencia.

Las Universidades cubanas poseen en sus equipamientos un sin número de motores eléctricos necesarios para prestar el servicio de educación con calidad, pero en contraposición en muchas ocasiones no se le presta atención a los aspectos referidos anteriormente. Por lo anterior se nos presenta el siguiente problema.

## **PROBLEMA**

En la Universidad de Granma no se cuenta con el estudio integral de los principales motores eléctricos que sirva de base para desarrollar un plan de mejora.

## **HIPÓTESIS**

Si se realiza un estudio en situ de los motores eléctricos principales de la Universidad de Granma, entonces, se podrá diagnosticar su funcionamiento.

## **OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar el funcionamiento a partir del estudio en situ para los motores eléctricos principales de la Universidad de Granma Cuba.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Revisar la literatura relacionada con el tema, recopilación de información.
- Realizar mediciones de los parámetros de funcionamiento en motores eléctricos principales.

## II. DESARROLLO

### CAPITULO I:

### Fundamentación Actual Del Tema

#### 1.1 Panorama Energético Actual

El petróleo es la materia prima imprescindible de nuestra época. Es de la que más se escribe y también de la que más se habla. Su explotación se inició en 1859, es decir, hace exactamente 149 años. Desde entonces su empleo se fue incrementando considerablemente. Diversos factores relacionados con el desarrollo de la sociedad, en especial la sociedad de consumo capitalista, determinaron que en el recién finalizado siglo XX conociera un extraordinario auge. Influyen, entre otros, el gigantesco desarrollo económico global, la magnitud de las ciudades, y la introducción masiva de los vehículos automotores. Hoy el 90 % de la energía que se consume en el mundo procede de combustibles fósiles no renovables como el petróleo (ver figura 1.1 y 1.2).

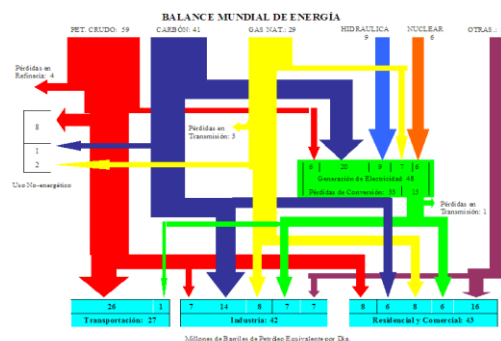


Figura 1.1: Balance mundial de energía (EIA, 2005)

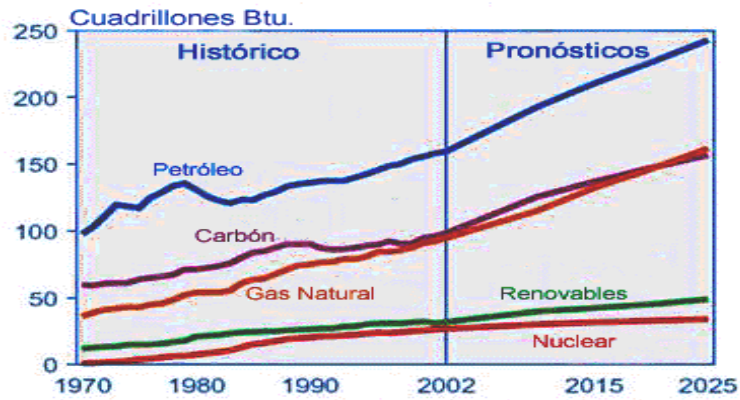


Figura 1.2: Mercado mundial del consumo de energía por tipo 1970 - 2025. (EIA. 2005)

Pero este petróleo es una sustancia finita y los geólogos advierten desde hace tiempo sobre su desaparición. La mayoría de los geólogos creen que ya se ha alcanzado el punto medio de agotamiento de la herencia original de petróleo en el mundo, y el único debate real es sobre cuán cerca se ha llegado a ese punto. Algunos expertos asumen que se está ahora en el pico, y otros afirman que todavía faltan unos pocos años o quizás una década para llegar a él. Como se observa, son muy variados los criterios de los expertos, pero en lo que todos coinciden es que se agotará indefectiblemente.

Con el fin de controlar la producción de petróleo mundial, los precios y la racionalización de este, el 14 de septiembre de 1960, se crea en Bagdad, capital de la República de Irak, y con los representantes del Reino de Irán, del Principado de Kuwait, del Reino de Arabia Saudita y de la República de Venezuela la Organización de Países Exportadores de Petróleo OPEP; como contraparte a las compañías extranjeras que hasta entonces controlaban este recurso.

Esta organización no logra consolidarse mundialmente hasta la década del 70, debido a la primera crisis petrolera en 1973, en la que la demanda fue mayor que la oferta, por lo que los precios aumentaron de 2,5 dólares por barril en 1973 a 12 dólares por barril en 1974, por el embargo petrolero al que sometieron las naciones árabes a los Estados Unidos y los Países Bajos, por su apoyo a Israel en la guerra del Yom Kippur. (Claar et al, 1981).

En tanto devino la segunda crisis petrolera entre 1978-1979 (protagonizada por la revolución Iraní sobre el régimen del Sha Mohamed Reza Pahlevi y la guerra Irán-Irak) y de la tercera crisis petrolera (1986-1991 producto a la guerra del golfo Pérsico donde Irak invade a Kuwait); en conjunto con la intervención en este conflicto de EE UU, en aras de defender sus intereses y tener el control mundial de las reservas de este recurso, y que lo llevo a invadir a Irak en el año 2001, provocaron que los precios ascendieron de 35 dólares por barril en 1979 a más de 100 dólares por barril en el 2008.

Por consiguiente y a pesar del agotamiento del petróleo mundial los consumos seguirán incrementándose, por lo que se estima que aumente de 78 a 119 millones de barriles por día entre el 2002 al 2025, donde China incrementará su consumo hasta un 7,5% anual. Debido a esto y de acuerdo con un estudio realizado, los miembros de la OPEP serán los más importantes suministradores de petróleo del mundo, representando un 60 % del incremento previsto (CEPAL, 2004; OLADE, 2000; La Eficiencia Energética, 2000).

En cuanto a la generación de electricidad se espera que se duplique entre 2002 y 2025, pasando de 14.275 billones de kW/h a 26.018 billones, donde el crecimiento más rápido lo experimentarán las economías emergentes, con un promedio de crecimiento de 4.0 % por año, en los países consolidados se prevé un aumento promedio de consumo eléctrico de 1.5 % por año. En este aspecto se debe añadir que algunos países han optado por la generación distribuida (GD), que se basa como necesidad de generación o el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la red eléctrica, y donde la capacidad de los sistemas GD varía de cientos de kW/h hasta 10 000 kW/h. (CEPAL, 2004; OLADE, 2000; La Eficiencia Energética, 2000).

En las fuentes de energías renovables debe estar parte de la solución, según un informe del consejo mundial de la Energía Eólica (GWEC), ya la potencia eólica instalada en todo el mundo ha aumentado desde los 4.800 MW en 1995 a los 59 000 MW finales de 2005, por lo que esta fuente de generación podría llegar a suministrar un 30 % del consumo eléctrico mundial en 2030 y un 34.2% en 2050 (BVA, 2000; OLADE, 2000).

### **1.1.1 Panorama Energético en Cuba.**

Nuestro país no está exento de la crisis energética internacional, y en torno a esto arrastra una de las peores crisis electro-energética de su historia, ya que se contaba con 10 plantas termoeléctricas con una capacidad instalada de 3958 MW; donde el 72,77 % le correspondía a las termoeléctricas, los auto productores de Níquel y MINAZ con el 16,52; la Hidroeléctrica con el 1,48 %; las turbinas de gas con el 7,88 % y el resto pertenecía a la eólica. Estas plantas tienen 46 unidades de generación, sin embargo, debido a varias causas como por ejemplo: averías, la falta de mantenimiento en el tiempo planificado y el uso de combustible no idóneo para su operación, provocaron que la capacidad real de generación fuera de 1200 MW. El consumo de electricidad se concentraba en la industria, el sector residencial y los servicios con más del 95 %.

Por su parte la demanda de energía eléctrica en Cuba, se redujo de 2,500 MW/h en el 1989 a 950 MW/h en el 2005, debido al gran número de industrias paralizadas, así como a una baja en el consumo agrícola y doméstico. (BVA,2000)

En torno a esto la crisis se hizo más aguda debido a los accidentes ocurridos en mayo del 2004, en la central termoeléctrica matancera Antonio Guiteras, lo que unido a la falta de suministro de combustible por parte de la antigua URSS; la nación cubana experimentó enormes apagones, que en ocasiones fueron por más de 10 horas. Para este período la generación de electricidad era de 15673 GW/h, donde el 78 % de esta generación le correspondía a las termoeléctricas y el resto se repartía en las turbinas de gas, las plantas diesel, hidroeléctricas, etc.

Es por estos motivos que la falta del suministro del petróleo golpeó fuertemente a la economía nacional dañando algunos sectores, e incluso provocando el cierre de algunas fábricas. De aquí que el estado cubano determinó priorizar a las empresas exportadoras y a los servicios sociales básicos en cuanto al suministro energético.

En medio de esta situación se logran algunos convenios con la República Bolivariana de Venezuela y otras entidades exportadoras de combustibles. Entre

los acuerdos realizados con Venezuela, se encuentra la venta a Cuba de 53 000 barriles diarios de petróleo (2,5 millones de toneladas anuales), el 80% de los suministros, Cuba lo pagará a precios del mercado mundial y en los 90 días posteriores a la entrega. El plazo de pago para el 20 % restante podrá estar entre los 5 y 20 años, en dependencia del precio promedio anual que alcance el petróleo (OLADE, 2000; La Eficiencia Energética, 2000; Campos,2000).

### **1.1.1.1 La Gestión De La Energía En Centros Educativos De Cuba.**

En los centros educativos cubanos se llevan a cabo medidas encaminadas al ahorro de la energía, como plan estratégico de la revolución energética.

De acuerdo a algunas informaciones los centros como: el Centro Universitario de Santi Spíritus, la Universidad Central de las Villas, La Cátedra de Educación Energética del Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona, el Centro de Estudios de Eficiencia Energética (CEEFE), que desde hace una década, está adscrito a la universidad de Oriente, en Santiago de Cuba, así como el Centro de Estudios de Energía y Medio ambiente (CEEMA), de la Universidad de Cienfuegos, han desarrollado y aplicado indistintamente programas relacionados con la gestión energética, basándose primeramente en trabajos aislados, por cada centro, y luego sobre la base de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGEE). Este sistema de gestión energética se compone de: la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para su implementación. Incluye además el ahorro de energía, la conservación y la sustitución de fuentes de energía. (Borroto, 2001)

Este sistema de gestión energética consta de las siguientes etapas: el análisis preliminar de los consumos energéticos, la formulación de un programa de ahorro y uso racional de la energía, el establecimiento de un sistema de monitoreo y control energético; así como de un programa para el mejoramiento continuo.

Sin embargo esta tecnología solo ha sido aplicada solo a la parte empresarial y hotelera, y no así al sector educativo. No obstante a ello debemos destacar que



la misma cuenta con un número de elementos y herramientas, que pueden ser utilizadas dentro del sistema de gestión energética a aplicar en los centros educativos.

### **1.1.1.2 Políticas Nacionales de la República de Cuba acerca del control energético en centros educativos.**

En Cuba la política energética está encaminada a la creación de una cultura energética en nuestra sociedad, el reto más grande que existe es la transformación de los hábitos, costumbres, valores y actitudes que se han impregnado en las personas y que contribuyen a una actuación contraria al cuidado de la naturaleza.

Es por estas razones que se hace énfasis en lograr una buena educación energética, donde todos los componentes actúen coherentemente y las influencias de todo el sistema se correspondan con un objetivo común.

Sin embargo no fue hasta los años duros del período especial (1990 al 1996), que se entendió la necesidad de ahorrar electricidad, y con ello al ahorro de los combustibles. De aquí se generó el programa que se conoce en Cuba con las siglas del PAEME; o sea el Programa de Ahorro de Energía del Ministerio de Educación. (UNESCO, 2010)

Bajo este programa se desarrolla un amplio plan de actividades conducente a educar a nuestro alumnado, que es la totalidad de la población joven de Cuba, al ahorro de todas las fuentes de energías disponibles, incluyendo las fuentes renovables de energía.

Hoy todas las universidades del país cuentan con grupos de investigación en el tema las fuentes renovables de energía y en todas las universidades pedagógicas, se cuenta con grupos de investigación en el tema de la educación energética y el medio ambiente. Es preciso señalar además que algunos programas son transmitidos por la televisión en el marco del programa Universidad para Todos con el tema: “Hacia una conciencia energética” auspiciado por: la Universidad de la Habana, el Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echevarría”, el Centro

de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables, el Programa de Ahorro de Electricidad en Cuba del MIMBAS y otros centros.

También se propone en el aspecto curricular, incluir en los programas de las asignaturas de la educación Secundaria Básica y Preuniversitario, temas relacionadas con la energía.

## **1.2 Principales características de los motores eléctricos empleados en la industria y el servicio.**

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Debido a sus múltiples ventajas, entre las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico ha reemplazado en gran parte a otras fuentes de energía, tanto en la industria como en el transporte, las minas, el comercio, o el hogar. (Wikipedia, 2010 a; Wikipedia, 2010 b)

Los motores eléctricos satisfacen una amplia gama de necesidades de servicio, desde arrancar, acelerar, mover, o frenar, hasta sostener y detener una carga. Estos motores se fabrican en potencias que varían desde una pequeña fracción de vatios hasta varios miles, y con una amplia variedad de velocidades, que pueden ser fijas, ajustables o variables.

Un motor eléctrico contiene un número mucho más pequeño de piezas mecánicas que un motor de combustión interna o uno de una máquina de vapor, por lo que es menos propenso a los fallos (ver figura 1.3). Los motores eléctricos son los más ágiles de todos en lo que respecta a variación de potencia y pueden pasar instantáneamente desde la posición de reposo a la de funcionamiento al máximo.

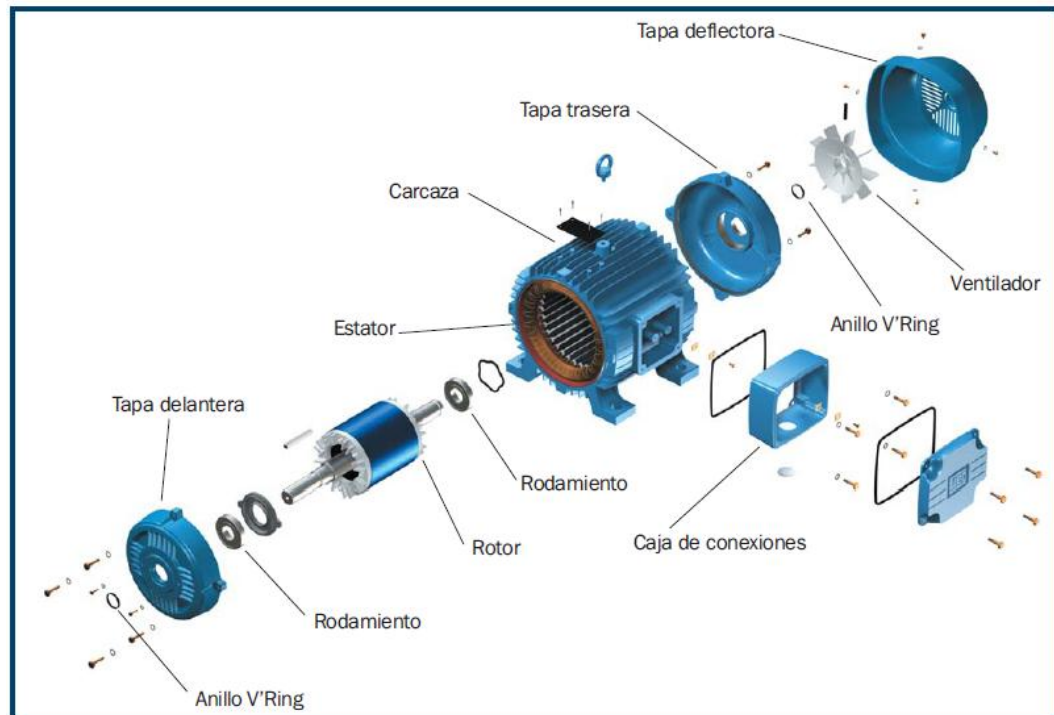


Figura 1.3: Partes componentes de un motor eléctrico. (WEG. 2002)

En cuanto a los tipos de motores eléctricos genéricamente se distinguen motores monofásicos, que contienen un juego simple de bobinas en el estator, y polifásicos, que mantienen dos, tres o más conjuntos de bobinas dispuestas en círculo.

Según la naturaleza de la corriente eléctrica transformada, los motores eléctricos se clasifican en motores de *corriente continua*, también denominada directa, motores de *corriente alterna*, que, a su vez, se agrupan, según su sistema de funcionamiento, en motores de inducción o asíncronos, motores sincrónicos y motores de colector. Tanto unos como otros disponen de todos los elementos comunes a las máquinas rotativas electromagnéticas.

- **Motores de corriente continua** (Wikipedia, 2010 c)

El motor de corriente continua (figura 1.4), es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotatorio. Esta máquina de corriente continua es una de las más versátiles en la industria. Su fácil control de posición, paro y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos. Pero con la

llegada de la electrónica su uso ha disminuido en gran medida, pues los motores de corriente alterna, del tipo asíncrono, pueden ser controlados de igual forma a precios más accesibles para el consumidor medio de la industria. A pesar de esto los motores de corriente continua se siguen utilizando en muchas aplicaciones de potencia (trenes y tranvías) o de precisión (máquinas, micro motores, etc.)



Figura 1.4: Motores de Corriente continua (CC) de varios tamaños

La principal característica del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.

Una máquina de corriente continua (generador o motor) se compone principalmente de dos partes, un estator que da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica. En el estator además se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas. También se construyen motores de CC con el rotor de imanes permanentes para aplicaciones especiales.

- **Motores de corriente alterna** (Wikipedia, 2010 d)

Los motores de corriente alterna tienen una estructura similar, con pequeñas variaciones en la fabricación de los bobinados y del conmutador del rotor. Según su sistema de funcionamiento, se clasifican en motores de inducción (asíncronos), motores sincrónicos y motores universales.

➤ **Motores de inducción (asincrónicos)**

El motor de inducción no necesita escobillas ni colector. Su armadura es de placas de metal magnetizable. El sentido alterno de circulación, de la corriente en las espiras del estator genera un campo magnético giratorio que arrastra las placas de metal magnetizable, y las hace girar. El motor de inducción es el motor de corriente alterna más utilizado, debido a su fortaleza y sencillez de construcción, buen rendimiento y bajo coste así como a la ausencia de colector y al hecho de que sus características de funcionamiento se adaptan bien a una marcha a velocidad constante (Yescas, 2008). De hecho, el rotor de un motor de inducción siempre se desliza produciendo un pequeño porcentaje de reducción de la que sería la velocidad de sincronismo.

➤ **Motores sincrónicos**

Los motores sincrónicos funcionan a una velocidad sincrónica fija proporcional a la frecuencia de la corriente alterna aplicada. Su construcción es semejante a la de los alternadores. Cuando un motor sincrónico funciona a potencia constante y sobreexcitado, la corriente absorbida por éste presenta, respecto a la tensión aplicada un ángulo de desfase en avance que aumenta con la corriente de excitación, esta propiedad es la que ha mantenido la utilización del motor sincrónico en el campo industrial, pese a ser el motor de inducción más simple, más económico y de cómodo arranque, ya que con un motor sincrónico se puede compensar un bajo factor de potencia en la instalación al suministrar aquél la corriente reactiva, de igual manera que un condensador conectado a la red.

➤ **Motores de universales**

Los motores universales trabajan con voltajes de corriente continua o corriente alterna. Tal motor, llamado universal, se utiliza en sierra eléctrica, taladro, utensilios de cocina, ventiladores, sopladores, batidoras y otras aplicaciones donde se requiere gran velocidad con cargas débiles o pequeñas fuerzas. Estos motores para corriente alterna y directa, incluyendo los universales se distinguen por su conmutador devanado y las escobillas. Los componentes de este motor son: los campos (estator), la masa (rotor), las escobillas (los excitadores) y las tapas (las

cubiertas laterales del motor). El circuito eléctrico es muy simple, tiene solamente una vía para el paso de la corriente, porque el circuito está conectado en serie. Su potencial es mayor por tener mayor flexibilidad en vencer la inercia cuando está en reposo, o sea, tiene un par de arranque excelente, pero tiene una dificultad, y es que no está construido para uso continuo o permanente.

Otra dificultad de los motores universales son las emisiones electromagnéticas. Las chispas del colector (chisporroteos) junto con su propio campo magnético generan interferencias o ruido en el espacio radioeléctrico. Esto se puede reducir por medio de los condensadores de paso, de 0,001  $\mu\text{F}$  a 0,01  $\mu\text{F}$ , conectados de las escobillas a la carcasa del motor y conectando ésta a masa. Estos motores tienen la ventaja de que alcanzan grandes velocidades pero con poca fuerza. Existen también motores de corriente alterna trifásica que funcionan a 380 V y a otras tensiones.

### **1.2.1 Calidad de Energía Eléctrica.**

Existen diferentes definiciones de calidad de energía eléctrica, pues cada marco de referencia destaca aspectos en función de sus compromisos y necesidades. Sin embargo, dado que la calidad de energía eléctrica es un problema que involucra a todos, es más adecuado definirla como: "Cualquier disturbio en los sistemas de energía eléctrica, que se manifiesta en desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia, lo cual resulta en una falla o una mala operación de los equipos."

Existen diferentes fenómenos que pueden ser analizados y corregidos por medio de los estudios de la calidad de energía eléctrica y se lo hace siguiendo los criterios de los estándares internacionales.

Según la norma EN 50160:1999 (NORMA ESPAÑOLA) las principales desviaciones a un suministro de alta calidad se presenta en la tabla 1 del anexo 1.

*Problemas causados por la mala calidad de energía* (Donal et al., 1993)

Dentro de los problemas más comunes se encuentran los siguientes:

- Calentamiento excesivo de transformadores.
- Ruido acústico en transformadores, motores y otros equipos.
- Calentamiento excesivo de conductores, principalmente el neutro.
- Circulación continua de corriente por el conductor de puesta a tierra.
- Bajo factor de potencia.
- Calentamiento excesivo de los bancos de capacitores.
- Operación errónea de los dispositivos de control, los sistemas de señalización principal y relevadores de protección.
- Pérdidas adicionales en capacitores, transformadores y máquinas rotatorias.
- Interferencia telefónica.
- Extinción del arco de las lámparas de descarga.
- Operación incorrecta de los dispositivos de control
- Daños a tarjetas electrónicas de control.
- Variación de la velocidad o del par en motores.
- Apertura de contactores.
- Colapso de sistemas de computación o errores de medición en instrumentos equipados con dispositivos electrónicos.
- Fallas en la conmutación de convertidores
- Parpadeo en monitores.
- Parpadeo en luminarias.
- Bloqueo de programas de PLC's, IHM, PC's.
- Baja eficiencia en motores eléctricos.

## **1.2.2 Factor De Potencia**

Operar con bajo factor de potencia una instalación eléctrica, además del impacto en el pago de electricidad, tiene otras implicaciones de igual o mayor significación, particularmente en relación con la capacidad de los equipos de transformación y distribución de la energía eléctrica y con el uso eficiente de la máquinas y aparatos que funcionan con electricidad.

Las cargas eléctricas pueden consumir potencia reactiva en tal magnitud, que afectan al factor de potencia de una instalación. Cuanto mayor sea la corriente reactiva  $I_L$ , mayor es el ángulo  $\phi$  y por tanto, más bajo el factor de potencia. Aparejado se tiene un incremento en la corriente total ( $I$ ) con serios inconvenientes (no sólo para el usuario sino también para la empresa que suministra energía eléctrica), como los que se describen a continuación:

- a) Una disminución de la capacidad de los equipos de generación, distribución y maniobra de la energía eléctrica.
- b) Un incremento en las pérdidas de cobre.
- c) Una deficiente regulación de voltaje.
- d) Un incremento en la facturación de energía eléctrica

### **1.2.2.1 Métodos De Corrección Del Factor De Potencia**

Los medios para la elevación del factor de potencia pueden ser considerados dentro de los grupos generales siguientes (Percy, 2002):

- a) Reducción del consumo de potencia reactiva, sin la aplicación de medios compensadores.
- b) Con la aplicación de medios compensadores.

#### **Sin La Aplicación De Medios Compensadores**

No se requieren grandes inversiones capitales. A esta variante pertenecen las siguientes medidas:

- 1) Ordenamiento del proceso tecnológico.
- 2) Selección correcta del tipo de motor.
- 3) Sustitución de los motores asincrónicos subcargados por otros de menor potencia.



- 4) Reducción del voltaje de los motores que sistemáticamente trabajan con poca carga
- 5) Limitación del trabajo de los motores en vacío.
- 6) Sustitución de motores asincrónicos por motores sincrónicos.
- 7) Elevación de la calidad de la reparación de los motores.
- 8) Sustitución de los transformadores subcargados.

### **Con la aplicación de medios compensadores**

Los equipos que se utilizan para compensar la potencia reactiva y así corregir el factor de potencia son: motores sincrónicos, capacitores sincrónicos y capacitores estáticos de potencia.

- **Motores sincrónicos**

Cuando se requieren motores de gran potencia y baja velocidad, se debe considerar la instalación de motores sincrónicos. Estos motores pueden proporcionar un trabajo mecánico y al mismo tiempo, en caso de operar sobreexcitados, comportarse como una carga capacitiva.

Ellos constituyen una forma de compensación fácilmente controlable, aunque su costo es mayor que el de un motor asincrónico.

La utilización de los motores sincrónicos puede ser conveniente no solamente sustituyendo a motores asincrónicos de igual potencia, sino también instalando motores sincrónicos de mayor potencia que la requerida por el mecanismo, para aprovechar la capacidad restante en una mayor compensación del reactivo en el sistema. La utilidad de la segunda medida deber ser fundamentada técnica y económicamente a través de la comparación con otras variantes del mejoramiento del factor de potencia.

- **Compensadores sincrónicos**

Los compensadores sincrónicos son motores diseñados exclusivamente para corregir el factor de potencia. Se fabrican de construcción aligerada, para trabajar sin carga en el eje. El cambio de la magnitud de la potencia reactiva generada por el compensador se ajusta con la regulación de su excitación. Generalmente son de gran tamaño.

Las pérdidas de potencia activa en estas máquinas, a plena carga, en dependencia de su capacidad nominal, oscilan entre 0.32 y 0.15 kW/kVAR, es decir, constituye un apreciable valor.

Como otra desventaja de los compensadores sincrónicos puede señalarse el encarecimiento y complejidad de su explotación (en comparación, por ejemplo, con los capacitores estáticos) y el considerable ruido durante su operación.

La posibilidad de una regulación suave y automática de la magnitud de la potencia reactiva generada, independientemente de la generación de potencia activa y voltaje en las barras, la buena estabilidad térmica y dinámica durante cortocircuitos y la posibilidad de reparación, son las propiedades positivas de los compensadores sincrónicos como fuentes de potencia reactiva.

El costo específico de los compensadores sincrónicos se incrementa considerablemente con la disminución de su potencia nominal. El alto costo específico de los compensadores de pequeñas potencias y las grandes pérdidas de potencia activa en ellos, condicionan su aplicación sólo a grandes potencias, en grandes subestaciones. Si son instalados exteriormente, se posibilita una atractiva reducción de los gastos. El desarrollo de los sistemas de compensación de reactivo con capacitores y reactores controlados por tiristores, tiende reducir más aún el campo para la aplicación económicamente justificable de los compensadores sincrónicos. Por todo lo señalado, son raramente utilizados en plantas industriales modernas.

- **Capacitores estáticos de potencia**

En comparación con los compensadores sincrónicos, los capacitores estáticos tienen las siguientes ventajas:

1. Pequeñas pérdidas de potencia activa (0.0025 a 0.005 kW/kVAr)
2. Simplicidad de la explotación (por ausencia de las partes rotatorias).
3. Simplicidad del montaje (pequeño peso, no requieren bases o cimientos, etc.).
4. Para su instalación puede ser utilizado cualquier lugar seco.
5. Bajo costo.
6. Mantenimiento casi nulo.

7. Igual o más alta confiabilidad, aunque son más sensibles a las fallas de cortocircuito y a voltajes superiores al nominal.
8. Presentan mucho menos tiempo de respuesta de control.
9. Pueden ser diseñados con control individual de voltaje de fase.

Todo esto hace de los capacitores la forma más práctica y económica para mejorar el factor de potencia.

Una característica de estos compensadores estáticos que puede resultar desventajosa, es que su capacidad generadora de reactivo es proporcional al voltaje al cuadrado, por lo que se ve reducida para bajos voltajes. Por otra parte, algunos sistemas estáticos empleados para su control generan armónicos. Un rasgo de estos equipos que puede ser tanto ventajoso como desventajoso, es que no contribuyen a la capacidad de cortocircuito.

En la mayoría de los casos en que los sistemas eléctricos presentan inicialmente un bajo factor de potencia, la inversión inicial en capacitores es rápidamente recuperable, tan sólo por los ahorros que se obtienen al evitar el pago de recargos que, por bajo factor de potencia, se hacen en la cuenta de electricidad.

### **1.2.2.2 Determinación del factor de potencia en una instalación industrial** (De Armas, 2004).

Cuando se trata de cargas individuales, generalmente el factor de potencia es conocido o puede ser estimado a partir de los datos del fabricante. Si esto no es factible o si se tiene un conjunto de cargas diferentes, tanto por su naturaleza como por sus tiempos de conexión, es conveniente auxiliarse de equipos de medición.

El factor de potencia se puede evaluar en forma instantánea o en promedio para un intervalo. El conocimiento periódico de valores instantáneos, sobre todo en condiciones de demanda máxima, permite conocer su comportamiento y ofrece una perspectiva para controlarlo. En instalaciones donde la carga no esté sujeta a grandes variaciones durante las horas de trabajo, puede ser considerado un factor de potencia promedio.

Existen varios métodos para determinar el factor de potencia, entre los cuales se tienen los que se mencionan a continuación:

*1. Con watímetro, voltímetro y amperímetro.*

Las lecturas de potencia activa, voltaje y corriente de estos instrumentos, dan el factor de potencia al sustituirse en la expresión adecuada, según la instalación sea monofásica o trifásica.

*2. Con un indicador de factor de potencia y un watímetro*

En este caso, el indicador de factor de potencia (fasímetro) proporciona en forma directa el valor de  $\cos \phi$ . Adicionalmente, la medición de la potencia activa servirá para estimar la potencia capacitiva necesaria para corregirlo.

*3. Con watihorímetro y varhorímetro*

El factor de potencia medido durante un período, se puede calcular a partir de las lecturas de los medidores de energía activa (kW h) y reactiva (kVARh) mediante la siguiente ecuación:

$$\cos \phi = \frac{kWh}{\sqrt{(kWh)^2 + (kVARh)^2}} \quad (1)$$

La potencia activa promedio (kW), se determina dividiendo los kWh medidos entre el número de horas que abarca el período considerado.

Precisamente el factor de potencia promedio durante un ciclo de facturación, es empleado para la bonificación o recargo que por este concepto hacen las empresas eléctricas en la factura de electricidad.

*4. Con sistemas avanzados de medición*

Actualmente se encuentran en el mercado una gran variedad de sistemas de medición (conocidos como analizadores de redes) que permiten obtener todas las variables que posibilitan realizar una completa valoración de cada uno de los indicadores energéticos, incluyendo el factor de potencia. Estas mediciones se pueden realizar por telemedición, en los puntos del circuito que resulte conveniente; se pueden programar los intervalos de tiempo en que se efectúan; el sistema puede ser conectado en interfase con computadoras para el procesamiento de datos y otras facilidades. Aunque los costos de estos equipos puedan parecer elevados, sus ventajas como herramientas para el control del consumo de energía

y para tomar las medidas de ahorro pertinentes, permiten usualmente recuperar la inversión en un tiempo satisfactorio.

La demanda en un motor eléctrico (o cualquier otro consumidor) es la necesidad instantánea de potencia, ya sea activa o reactiva, proveniente del sistema de alimentación.

La energía eléctrica se mide según el tiempo que actúa la demanda de acuerdo a la ecuación.

$$E = P \cdot t \quad (2) \quad \text{Donde: } E \text{ es la energía consumida (Vatios por hora)}$$

$P$ : es la potencia instantánea (vatios)

$T$ : es el tiempo en que transcurre la demanda (horas).

A pesar que la potencia reactiva no produce trabajo útil, puede ser medida por un metro contador reactivo y se expresa en Var-Horas (esta unidad de medida se utiliza tanto para la energía inductiva como para la capacitiva).

Se define factor de potencia (fdp) de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa ( $P$ ) y la potencia aparente ( $S$ ), si las corrientes y tensiones son señales perfectamente sinusoidales.

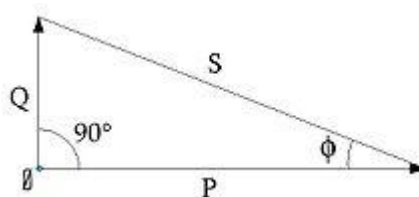


Figura 1.5: Triángulo de potencias

Si las corrientes y tensiones son señales perfectamente sinusoidales, el factor de potencia será igual a  $\cos \phi$  o como el coseno del ángulo que forman los fasores de la intensidad y el voltaje, designándose en este caso como  $\cos \phi$ , siendo  $\phi$  el valor de dicho ángulo. De acuerdo con el triángulo de potencias de la figura 1.5:

$$f.d.p. \equiv \cos \phi = \frac{P}{S} \quad (3)$$

(Si las corrientes y tensiones son señales perfectamente sinusoidales). El dispositivo utilizado para medir el f.d.p. se denomina cosímetro.

### 1.2.2.3 Importancia del factor de potencia

Para comprender la importancia del factor de potencia se van a considerar dos receptores con la misma potencia, 1000 W, conectados a la misma tensión de 230 V, pero el primero con un f.d.p. alto  $\cos \varphi_1 = 0,96$  y el segundo con un bajo  $\cos \varphi_2 = 0,25$ .

- Primer receptor

$$I_1 = \frac{P_1}{V \cos \varphi_1} = \frac{1000}{230 \cdot 0,96} \simeq 4,53A$$

$$S_1 = VI_1 = 230 \cdot 4,53 \simeq 1.042VA$$

- Segundo receptor

$$I_2 = \frac{P_2}{V \cos \varphi_2} = \frac{1000}{230 \cdot 0,25} \simeq 17,39A$$

$$S_2 = VI_2 = 230 \cdot 17,39 \simeq 4.000VA$$

Cotejando ambos resultados, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Un f.d.p. bajo comparado con otro alto, origina, para una misma potencia, una mayor demanda de intensidad, lo que implica la necesidad de utilizar cables de mayor sección.
- La potencia aparente es tanto mayor cuanto más bajo sea el f.d.p, lo que origina una mayor dimensión de los generadores.

Ambas conclusiones nos llevan a un mayor coste de la instalación alimentadora. Esto no resulta práctico para las compañías eléctricas, puesto que el gasto es mayor para un f.d.p. bajo. Es por ello que las compañías suministradoras penalizan la existencia de un f.d.p. bajo, obligando a su mejora o imponiendo costes adicionales.

### **1.3 Automatización Del Mando En Los Motores Eléctricos**

El control manual del consumo de energía consiste en llevar a cabo una programación de la operación de las diferentes cargas, especialmente las de más peso, en este caso, en el consumo de energía. Con ello se determina qué equipos consumidores de energía eléctrica pueden desplazar su operación hacia horarios de menor costo por kWh y como se pueden reducir los consumos individuales. Esto puede ser el prohibir el trabajo de ciertas cargas, talleres, líneas de producción, durante un tiempo especificado, o desplazar hacia otro horario su operación. Por ejemplo, pasar un taller a producir durante el horario nocturno. No debe comenzarse con un método de control automático sin haber pasado por un método manual de programación de las cargas.

Las medidas manuales suelen ser sencillas. Es común encontrar motores funcionando en vacío, luminarias y ventiladores encendidos sin necesidad, bombas trabajando en horarios inadecuados y otros muchos problemas posibles de corregir fácilmente. El personal de seguridad puede entrenarse en la revisión de áreas específicas de una planta para verificar equipos que estén trabajando innecesariamente.

Nunca como ahora los dispositivos automáticos para controlar el consumo de energía ofrecen ventajas significativas sobre su contraparte humana (figura 1.6). Su confiabilidad es mucho mayor, ya que la fatiga, la falta de atención, actitud inadecuada, falta de capacitación y otras características humanas no entran en juego.



Figura 1.6: Dispositivos de control automáticos

Aunque su costo es un importante factor a considerar en dependencia del tipo y magnitud de la instalación industrial en cuestión, la tecnología de los microprocesadores y el desarrollo de nuevas aplicaciones, han hecho a muchos de los nuevos dispositivos más útiles y con una mayor rentabilidad. A continuación se mencionan algunos de ellos:

➤ Controles de encendido y apagado

Hay una gran variedad de dispositivos de encendido y apagado, simples y de bajo costo, que usualmente controlan una sola carga. Se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Controles de tiempo, controlan el encendido y apagado de un equipo específico en tiempos preestablecidos, durante un día o semana.
- Interlocks o relevadores que, por ejemplo, cuando se apaga una máquina en el proceso, su ventilador, la iluminación o flujo de agua se suspende automáticamente.



- Relevadores de fotocelda, empleados especialmente para sistemas de iluminación, para ajustar la intensidad o apagar las luminarias en función de la iluminación natural.
- Equipos termostáticos, que pueden reducir el consumo de los aparatos de calefacción o de refrigeración.
- Sensores infrarrojos de presencia, que perciben la presencia o ausencia humana y apagan o encienden la iluminación de un área o de algún equipo.

➤ **Controladores lógicos programables (PLC)**

Los controladores programables son dispositivos de bajo y mediano costo que emplean microprocesadores. Se emplean principalmente en equipos que tienen cargas cíclicas y sustituyen a los relevadores electromecánicos. También son usados con frecuencia para controlar un equipo individual con el método de encendido - apagado, a una hora específica del día.

Los PLC disponibles pueden controlar 4, 8, 12, 16 o más puntos y se pueden expandir por módulos, de 8 o más puntos.

El tiempo de arranque o parada de cada punto puede controlarse individualmente o monitorearse. Hay disponibles relojes de 7 días o de un año completo, de modo que es posible desconectar un equipo los fines de semana o días festivos.

Estos sistemas de control son fácilmente programables o reprogramables y son altamente confiables.

➤ **Sistemas de automáticos de administración de energía**

Los avances tecnológicos en microprocesadores y sus aplicaciones están cambiando continuamente los sistemas de administración de energía. Básicamente estos sistemas combinan las funciones de un controlador programable, controlador de demanda máxima y cualquier número de equipos individuales de fuerza, de iluminación, de procesos térmicos.

También incluye la posibilidad de monitoreo, manejando señales de sensores a distancia.

El sistema es capaz de utilizar las señales de los sensores para optimizar las decisiones energéticas relacionadas con la operación de los equipos, especialmente en ventilación, calefacción y refrigeración. Dependiendo de su

capacidad, tales sistemas pueden manejar miles de puntos en diferentes edificios o naves. Son capaces también de manejar la esfera de la seguridad de los edificios, así como alarmas contra incendios.

#### 1.4 Análisis De Los Indicadores De La Energía Eléctrica En La Universidad De Granma (UDG).

Según Pacheco (2006), plantea que uno de los mayores gastos que efectúa la UDG está relacionado con el renglón electricidad.

Mediante el empleo de las herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (Borroto et al., 2002), desarrollada por el CEEMA, Universidad de Cienfuegos, se analizaron las áreas de mayor consumo como se aprecia en la figura 1.6.

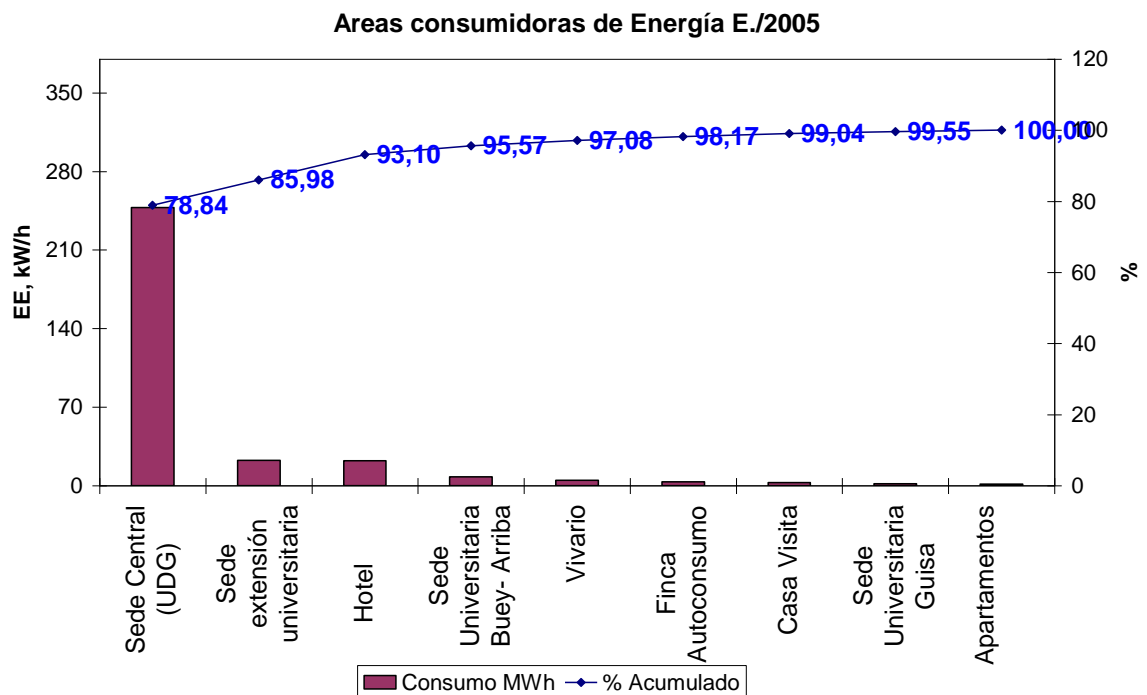


Figura 1.6: Diagrama de Pareto de las áreas consumidoras de electricidad en la Universidad de Granma.

Como se puede apreciar en la figura, la sede central Universidad de Granma consume el 78,8 %, esto significa que los trabajos encaminados al ahorro del portador energía eléctrica deben estar encaminados a dicha área.

Empleando la misma herramienta, se identificaron en el trabajo los portadores que ocasionan el 80 % del consumo energético, como se aprecia en la figura 1.7, las áreas de mayor consumo de energía eléctrica fueron: el edificio de rectorado, las edificaciones de residencia estudiantil y almacenes ATM – Carpintería, la estación de bombeo, el comedor y el edificio del docente 3, con un 81,67 % acumulado. En cada una de estas áreas existen una serie de motores eléctricos que inciden en el consumo.

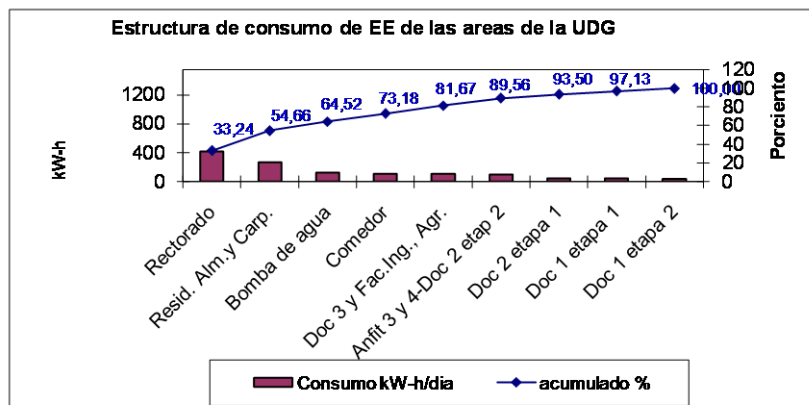


Figura 1.7: Diagrama de Pareto del consumo de electricidad por áreas

## **CAPITULO II:**

### **Materiales y Métodos**

El trabajo fue desarrollado en La Universidad de Granma, la cual se encuentra ubicada en la localidad de Peralejo en la carretera vía Manzanillo km 17<sup>1/2</sup>, Bayamo – Granma, la vista en planta de esta la podemos ver en el anexo 2. Este colinda por el sur con el poblado del Dorado, por el este con el Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”. En el centro se estudian las carreras de Contabilidad, Industrial, Economía, Agronomía, Forestal, Medicina Veterinaria y Ingeniería en Mecanización Agrícola.

#### **2.1. Características Técnicas, Energéticas De Los Sistemas Y Equipos De Uso De La Energía Eléctrica En La UDG.**

La Universidad durante años ha tenido que realizar diversas inversiones, ocasionadas fundamentalmente por el deterioro de algunas de sus instalaciones eléctricas como por ejemplo: conductores eléctricos, luminarias, equipos de bombeo de agua, etc.

La misma cuenta con una pizarra central, que controla las conexiones eléctricas de todas las edificaciones y áreas de trabajo que la componen como son: El edificio de Rectoría, los edificios de la residencia estudiantil (A, B, C y D), Sistema de bombeo de agua, el edificio Docente 1, el edificio Docente 2, el edificio Docente 3, el edificio de Medicina Veterinaria, el edificio de la Facultad de Ingeniería y Agronomía, así como los anfiteatros 1, 2, 3 y 4; los almacenes y el taller de transporte.

Las características técnicas y energéticas de los equipos principales con motores eléctricos que se encuentran en explotación en cada área, lo podemos encontrar en la Tabla 2 del Anexo 3.

## **2.2. Determinación De Las Principales Áreas Y Motores Eléctricos Que Consumen Energía Eléctrica.**

Mediante el empleo del diagrama de Pareto y estratificación como unas de la las herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía abordada por Borroto et al. (2002), desarrollada por el CEEMA, Universidad de Cienfuegos. Se determinan las áreas y motores eléctricos que inciden en el consumo eléctrico de la UDG. No se ha considerado en el estudio los motores eléctricos componentes de los sistemas de climas, refrigeración y ventiladores.

## **2.3 Evaluación Del Funcionamiento De Los Motores Eléctricos Principales.**

Mediante la aplicación de los métodos empíricos (observación, medición y experimentación), y el metro contador portátil (con característica mostrada en la figura 2.1 y tabla 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6) se determinó el comportamiento del factor de potencia, realizándose 10 mediciones, con el objetivo de realizar un análisis estadístico de las muestras (dato chapa y el obtenido por la medición) con el empleo del software STATGRAPHICS Plus Versión 5.1, realizándose posteriormente un contraste de hipótesis considerando hipótesis nula que no existe diferencia entre las medias.



Figura 2.1: Metro contador portátil (UNI – T modelo UT232)

**Tabla 2.1: Características técnicas del Metro (Voltaje y frecuencia)****Accuate Specification**

Accuracy:  $\pm$  (a% Reading + b digits), guaranteed for 1 year.  $\sim$

Operating temperature:  $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Operating humidity: 45 ~ 75% R.H

**A. AC Voltage ( True RMS)**

Range	Resolution	Accuracy	Allowable Maximum overload proteccion	Input impedance
15 v	0.1 v	$\pm$ (1.2%+5)	600 RMS	10M $\Omega$
100v				
300v				
600v				

**B. Frequency**

Range	Resolution	Accuracy
20Hz ~500Hz	1Hz	$\pm$ (0.5%+5)

**Tabla 2.2: Características técnicas del Metro (Corriente y Potencia activa)****C. AC Current (Tre RMS )**

Range	Resolution	Accuracy	Allowable Maximum overload proteccion
40 A	0.1A	$\pm$ (.2%+5)	1000 RMS
100A			
400A			
1000A	1A		

**D. Active Power ( $W=V \times A \times \cos \emptyset$ )**

Current / Voltage		Voltage Range			
		15 V	100V	300 V	600 V
	40 A	0.60 kW	4.00kW	12.00kW	24.00 kW
	100 A	1.50 kW	10.00kW	30.00 kW	60.00 kW
	400 A	6.00 kW	40.00kW	120.0 kW	240.0 kW
	1000 A	15.00 kW	100.0k W	300.0 kW	600.0 kW
<b>Accuracy</b>		$\pm (3\%+5)$			
<b>Resolution</b>		<1000 kW:0.01 kW $\geq 100$ kW: 0.1 kW			

**Remarks:**

- Allowable maximum overload protection voltage: 600V RMS
- Allowable maximum overload protection current: 600V RMS

**Tabla 2.3: Características técnicas del Metro (Potencia reactiva)****E. Reactive Power ( $Var=V \times A \times \sin \emptyset$ )**

Current / Voltage		Voltage Range			
		15 V	100V	300 V	600 V
	40 A	0.60 kW	4.00kW	12.00kW	24.00 kW
	100 A	1.50 kW	10.00kW	30.00 kW	60.00 kW
	400 A	6.00 kW	40.00kW	120.0 kW	240.0 kW
	1000 A	15.00 kW	100.0k W	300.0 kW	600.0 kW
<b>Accuracy</b>		15V1000A Ranger $\pm (4\%+20)$ Other Ranges $\pm (4\%+20)$			
<b>Resolution</b>		<1000 kW:0.01 kW $\geq 100$ kW: 0.1 kW			

**Remarks**

- Allowable maximum overload protection voltage: 600V RMS
- Allowable maximum overload protection current: 1000A RMS

Tabla 2.4: Características técnicas del Metro (Potencia aparente)

**F. Apparent Power ( $VA=V \times A$ )**

Current / Voltage		Voltage Range			
		15 V	100V	300 V	600 V
	40 A	0.60 kAV	4.00 kAV	12.00 kAV	24.00 kAV
	100 A	1.50 kAV	10.00 kAV	30.00 kAV	60.00 kAV
	400 A	6.00 kAV	40.00 kAV	120.0 kAV	240.0 kAV
	1000 A	15.00 kAV	100.0 kAV	300.0 kAV	600.0 kAV
<b>Accuracy</b>		$\pm (3\%+5)$			
<b>Resolution</b>		<1000 kAV:0.01 kAV $\geq 100$ kAV: 0.1 kAV			

**Remarks:**

- Allowable maximum overload protection voltage: **600V RMS**
- Allowable maximum overload protection current: **1000A RMS**

Tabla 2.5: Características técnicas del Metro (Factor de potencia y ángulo)

**G. Power Factor ( $PF=W / VA$ )**

Range	Accuracy	Resolution	Measuring
<b>0.3 ~ 1</b> (capacitive or inductive )	<b><math>\pm 0.022</math></b>	<b>0.001</b>	The minimum measuring current 10 A The minimum measuring voltage 45 V
<b>0.3 ~ 1</b> (capacitive or inductive)	<b>For reference only</b>		Measuring current less than 10 A OR Measuring voltage less than 45V

**Remarks:**

- Allowable maximum overload protection voltage: **600V RMS**
- Allowable maximum overload protection current: **1000A RMS**



**H. Phase Angle ( $PG=\text{acos}(PF)$ )**

Range	Accuracy	Resolution	Measuring
0°~ 360°	$\pm 0.022$	0.001	The minimum measuring current 10 A The minimum measuring voltage 45 V
0°~360°	For reference only		Measuring current less than 10 A OR Measuring voltage less than 45 V

Tabla 2.6: Características técnicas del Metro (Energía activa)

**I. Active Energy (kWh)**

Range	accuracy	Resolution
1 ~ 9999kWh	$\pm (3\%+2)$	0.001kWh

**Remarks:**

- Allowable maximum overload protection voltage: 600 V RMS
- Allowable maximum overload protection current: 1000A RMS

**2.3.1 Metodología para el cálculo del factor de potencia.** (Tarasob, 1980; Shubin y Pedre, 1986; Vasilieb y Nikolaeb, 2003).

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\varphi$$

$$\cos\varphi = P/\sqrt{3} * V * I \quad (4)$$

Donde:

P: potencia (kW).

V: tensión (V).

I: Intensidad de la corriente eléctrica (A)

Cos $\varphi$ : Factor de potencia.

$\sqrt{3}$  = en caso de motores trifásicos

## **1.4 Causas Posibles En El Deficiente Funcionamiento De Los Motores Eléctricos**

A partir de las mediciones y cálculos efectuados, más la inspección visual a la instalación, se muestran y relacionan una serie de insuficiencias que de alguna forma influyen negativamente en el funcionamiento adecuado de los motores eléctricos.

## CAPITULO III: Presentación Y Análisis De Los Resultados

### 3.1 Diagnóstico energético de las principales áreas y motores eléctricos que consumen energía eléctrica.

Como se puede apreciar en la figura 3.1, las principales áreas que inciden en el consumo son: Sistema de bombeo, Transporte y Mantenimiento donde se concentra más del 80 % del consumo.

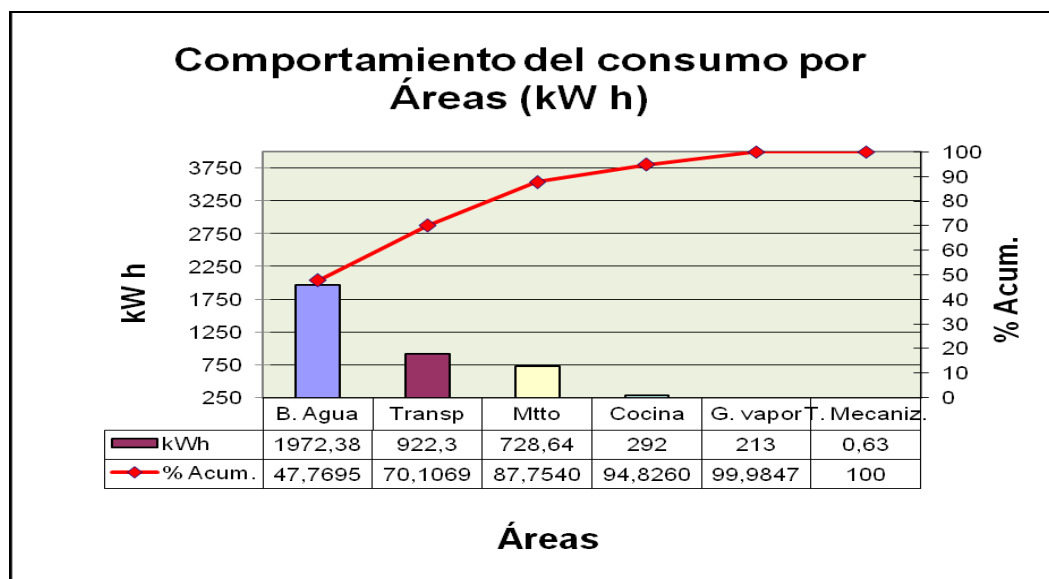


Figura 3.1: Principales áreas donde se concentra el consumo eléctrico

Independientemente de que estas son las áreas donde se deben buscar las mejoras, se realiza un análisis de todos los motores que se inventariaron por áreas para tener una panorámica más real. Para ello se aplica Pareto como lo muestra la figura 3.2.

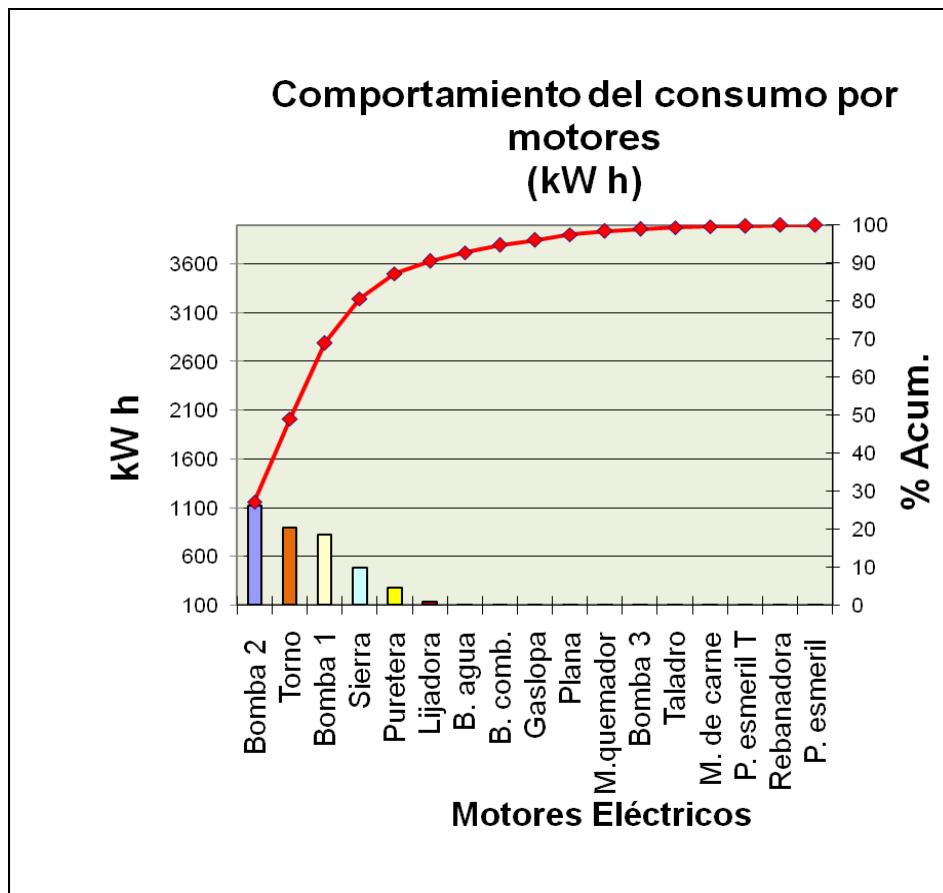


Figura 3.2: Principales motores eléctricos donde se concentra el consumo eléctrico

Como muestra la figura es la Bomba 2 (área de bombeo), Torno (Transporte), Bomba 1 (área de bombeo) y a Sierra, en las que se concentra el consumo energético (80.6 %) coincidiendo con las áreas, es por tanto aquí donde debe estar dirigido el trabajo de medición en campo de los parámetros fundamentales, en especial al sistema de bombas que agrupan aproximadamente el 47 %. Independientemente del resultado es importante destacar que la Puretera situada en el área de la cocina debe ser incluida por el tiempo de trabajo y el consumo elevado de potencia que demanda.

### 3.2 Comportamiento Del Funcionamiento De Los Motores Eléctricos Principales

A partir del resultado anterior, se realizan las mediciones con la instrumentación descrita en el capítulo 2, comparándola con los datos en chapa, las mismas se relacionan a continuación en la Figura 3.3 y Tabla 3.1.



Figura 3.3: Imágenes de los equipos muestreados

Tabla 3.1: Resumen estadístico (STATGRAPHICS Plus Versión 5.1)

<b>RESUMEN ESTADISTICO</b>			
<b>Motor</b>	<b>Variable estadística</b>	<b>Dato chapa(FP)</b>	<b>Dato medido(FP)</b>
Bomba 1	Media	0,87	0,7411
	Varianza	0,000001	0,00000232222
	Desviación típica	0,001	0,00152388
	t calculado		226,106
	p-Valor		<b>0,0</b>
Torno	Media	0,85	0,6882
	Varianza	0,000001	0,000105511
	Desviación típica	0,001	0,0102719
	t calculado		50,9117
	p-Valor		<b>0,0</b>
Bomba 2	Media	0,85	0,6937
	Varianza	0,000001	0,00000201111
	Desviación típica	0,001	0,00141814
	t calculado		284,855
	p-Valor		<b>0,0</b>
Sierra	Media	0,84	0,7054
	Varianza	0,000001	0,000337156
	Desviación típica	0,001	0,0183618
	t calculado		22,8347
	p-Valor		<b>9,76996E-15</b>
Puretera	Media	0,8	0,7054
	Varianza	0,000001	0,000337156
	Desviación típica	0,001	0,0183618
	t calculado		25,3645
	p-Valor		<b>1,55431E-15</b>

Como se puede apreciar en la tabla, el valor de probabilidad calculado (p-Valor) es inferior en todos los casos a 0,05, por tanto se rechaza la hipótesis nula para un 95 % de confiabilidad, existiendo por ende diferencia significativa entre las medias (FP chapa y FP medido).

La Figura 3.4, muestra claramente el comportamiento de los estadígrafos, donde la media y mediana muestran una diferencia mínima. En el caso de la Sierra existieron 3 mediciones las cuales no se corresponden con el resto y de cierta forma contribuyen al resultado, estas estuvieron influenciadas por las condiciones de operación (polvo, iluminación, etc.) que motivaron a incurrir en errores de lectura.

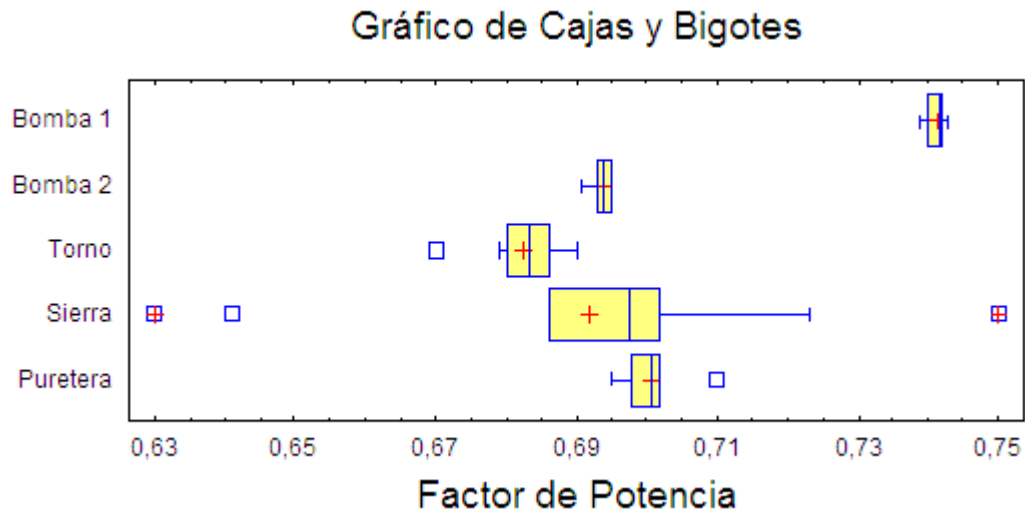


Figura 3.4: Resultados estadísticos de las lecturas al Factor de Potencia

### 3.3 Causas Posibles En El Deficiente Funcionamiento De Los Motores Eléctricos

En recorrido por las áreas se pudieron identificar una serie de deficiencias relacionadas con el mantenimiento y la ignorancia voluntaria ante los problemas, como se muestra en las imágenes de la Figura 3.5 y 3.6.

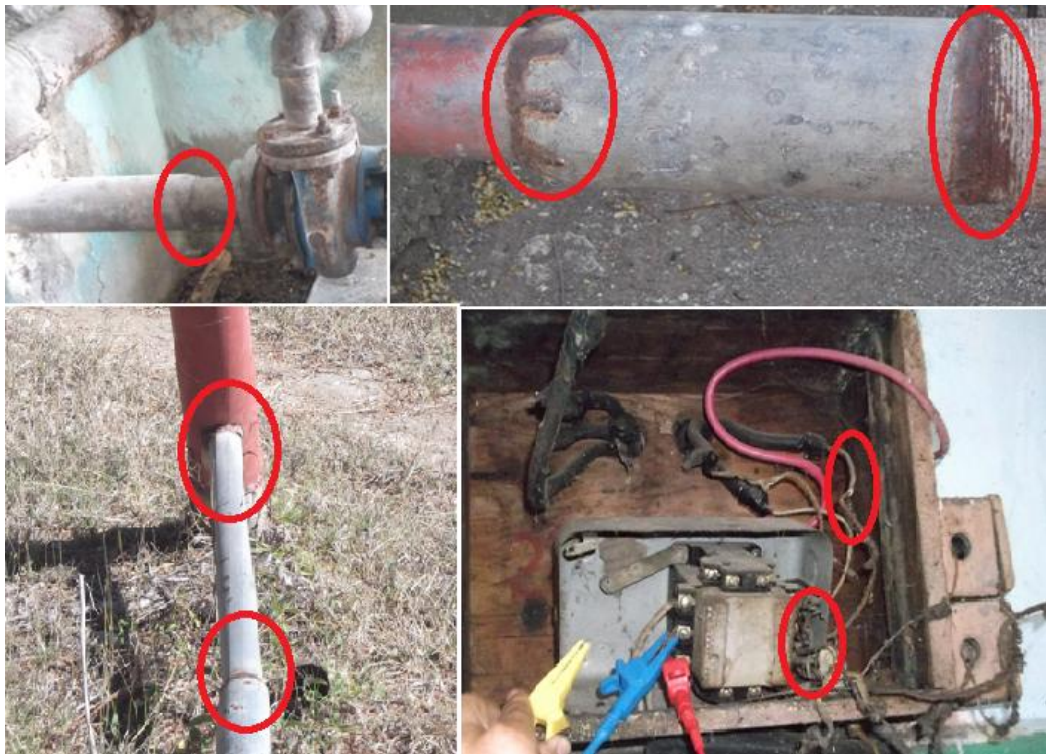


Figura 3.5: Detalles de posibles deficiencias que pueden producir pérdidas de energía (1)

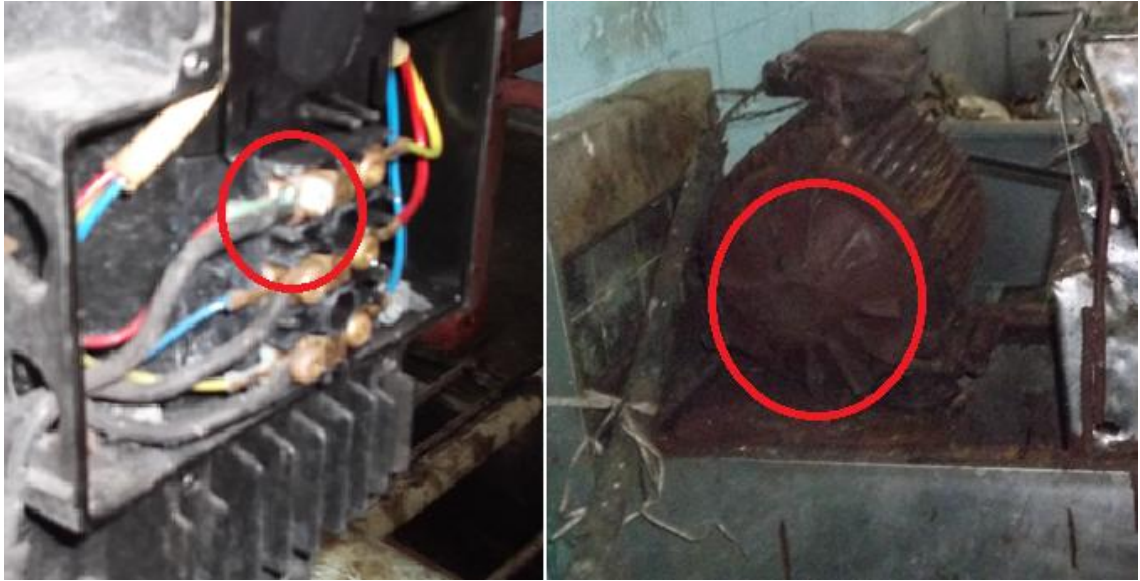


Figura 3.6: Detalles de posibles deficiencias que pueden producir pérdidas de energía (2)

Como resultado de estos detalles y otros, se relacionan a continuación una serie de deficiencias en el funcionamiento de las instalaciones que contribuyen al mal funcionamiento de los motores eléctricos:

1. Correas en mal estado
2. Sistemas hidráulicos mal diseñado
3. Mala selección de la potencia del motor eléctrico (sobredimensionamiento)
4. Falta de mantenimiento en los rodamientos componentes de la instalación
5. Empalmes de cables deficientes y desprotegidos
6. Sulfatación de cables eléctricos
7. Ventilador para el enfriamiento en mal estado
8. Salideros de agua
9. Sistemas de protección eléctrica sobredimensionada
10. Tornillos de sujeción flojos y sulfatados



### **3.4 Valoración Económica**

Para referirse a un efecto económico cuantitativo es necesario profundizar y evaluar soluciones en la instalación y mantenimiento con su influencia en el comportamiento del factor de potencia. No obstante se puede inferir que si la Universidad en el 2010, entre el mes de febrero y noviembre consumió 229800 kWh con un 0.86 de factor de potencia, siendo penalizada por incumplir con el mismo con 1926.39 pesos, Entonces, medidas dirigidas como primer paso a solucionar las deficiencias anteriormente señaladas, producirían una disminución del consumo, un aumento del FP y por tanto disminuir la cuantía de penalización.

## **CAPITULO III**

### **CONCLUSIONES**

1. Las áreas que inciden en el consumo son: Sistema de bombeo, Transporte y Mantenimiento donde se concentra más del 80 % del consumo.
2. El consumo energético se encuentra concentrado en los motores eléctricos: Bomba 2 (área de bombeo), Torno (Transporte), Bomba 1 (área de bombeo) y a Sierra con un 80.6 %.
3. El comportamiento del factor de potencia durante el funcionamiento del motor eléctrico es significativamente inferior al dado por chapa.
4. Persisten deficiencias en el mantenimiento de los motores eléctricos e instalaciones.

## **CAPITULO IV**

### **RECOMENDACIONES**

1. Eliminación de las deficiencias detectadas y señaladas en el trabajo.
2. Rediseño de las instalaciones donde se encuentran los motores evaluados.
3. Continuar el estudio, evaluándose los motores relacionados con los equipos de clima y refrigeración.

## **CAPITULO**

### **V REFERENCIA BIBLIOGRAFICA**

- Borroto Bermúdez, Aníbal et. al. 2002. Gestión energética Empresarial. CEEMA. Universidad de Cienfuegos. Cuba.
- Borroto N., Anibal. Gestión energética empresarial. 2001
- Borroto Nordelo, Aníbal et al. 2002. Ahorro de energía en sistemas termomecánicos. Centro de estudio de energía y medio ambiente. Cienfuegos. Cuba
- BVA. 2000. El camino climático. El campo de las ciencias y las artes. Servicio de estudio No. 137.
- Campos Avella, Juan C. 2000. Herramientas para Establecer un Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía. Diplomado en Gestión Energética, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.
- CEPAL. 2004. Estudio Económico de América Latina y el Caribe. Petróleo y gas en América Latina un análisis político de relaciones internacionales a partir de la política venezolana (DT). Disponible en: [www.prensalatina.co.cu](http://www.prensalatina.co.cu). (23/03/2010).
- Claar II, P.W.; Colvin, T.S.; Marley, S.J. 1981. Economic and Energy Analysis of Potential Corn Residue Harvesting Systems. Agricultural Energy, ASAE, pp. 27, 32, 79.
- De Armas Teyra, Marcos. 2004. Curso breve, Calidad de la Energía Eléctrica. Centro de estudio de energía y medio ambiente (CEEMA). Cienfuegos. Cuba.
- Donal, G. Fink y H. Wayne Beaty. (1993). Manual de ingeniería eléctrica, décima tercera edición, tomos I, II, MC GRAW HILL.
- EIA. 2005. System for the Analysis of Global Energy Markets. International Energy Annual. Washington, DC. Disponible en: [www.eia.doe.gov/iea/](http://www.eia.doe.gov/iea/) (10/11/2010).

- La Eficiencia Energética en la reestructuración del sector en América Latina y el Caribe. Revista Energética p 4-9 .abril-mayo-junio-2000.
- OLADE. 2000. Informe energético de América Latina y el Caribe 1999 y prospectiva 2000-2020. Quito
- Pacheco Gamboa, Raúl F. (2006). Sistema de Gestión de Energía y Agua para la Universidad de Granma Cuba. Tesis en opción al grado académico de Master en Eficiencia Energética. Cienfuegos. Cuba.
- Percy Viego, Felipe et al. 2002. Ahorro de energía en sistemas eléctrico Industrial. Centro de estudio de energía y medio ambiente (CEEMA). Cienfuegos. Cuba.
- Shubin, V. S. y Pedre C. (1986). Diseño de máquinas industriales T. III. La Habana. Editorial pueblo y educación.
- Tarasob, U. D. (1980). Construcción y cálculo de las máquinas y complejos de transporte. Naúka. Leningrado.
- UNESCO. La conferencia general de la UNESCO aprueba la creación de centros. Tomado de: [www.unesco.org/water/news/water\\_related\\_centres\\_es.shtml](http://www.unesco.org/water/news/water_related_centres_es.shtml) - 27k. (11/11/2010).
- Vasilieb k. A. y Nikolaieb A. K. (2003). Máquinas de transporte. Naúka. Sant-Peterburgo.
- WEG. 2002. Motores trifásicos cerrados – IEC – 60 Hz. Disponible en: [www.weg.com.br](http://www.weg.com.br). Brasil.
- Wikipedia. 2010 a. El motor eléctrico. [http://www.portalplanetasedna.com.ar/motor\\_electrico.htm](http://www.portalplanetasedna.com.ar/motor_electrico.htm). (29/11/2010).
- Wikipedia. 2010 b. Motor eléctrico [http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico) (29/11/2010).
- Wikipedia. 2010 c. Motor de corriente continua. [http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_corriente\\_continua](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua). (29/11/2010)
- Wikipedia. 2010 d. Motor de corriente alterna. [http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_corriente\\_alterna](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_alterna). (29/11/2010)
- Yescas Yescas, Luciano. 2008. Motores eléctricos su clasificación. <http://www.monografias.com/trabajos10/motore/motore.shtml>.

# ANEXOS

## CAPITULO VI

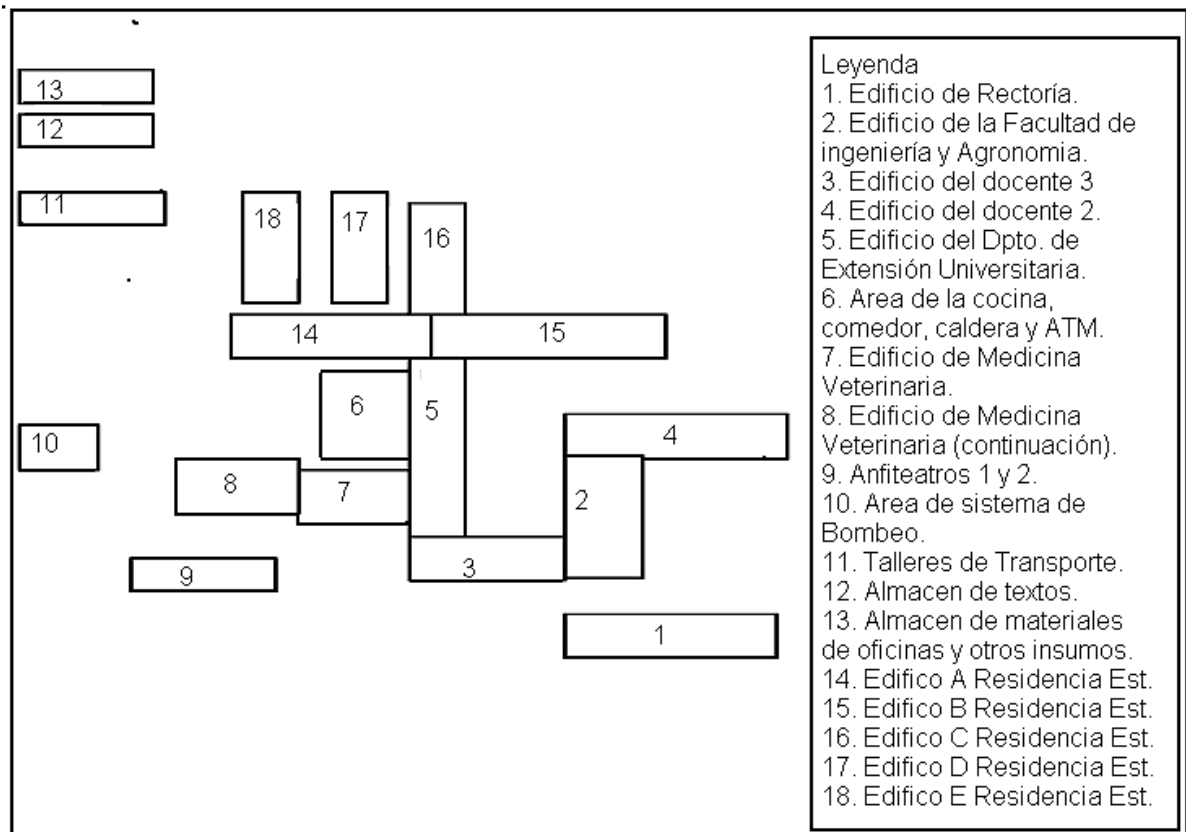
## ANEXOS

**ANEXO 1. Tabla 1:** Estándares internacionales de calidad de energía.

PERTURBACION	MEDIDAS	LIMITES	INTERVALOS DE EVULUACIONES	PORCENTAJE DE MEDIDAS DENTRO DE LOS LIMITES POR UN INTERVALO
Frecuencia	Promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10s	$\pm 1 \%$	Al año	99,5 %
		+4 %/-6%		100,0 %
Variaciones de tensión	Promedio de la VAC de cada ciclo durante 10 min	$\pm 10 \%$	Cada semana	99,5%
		$\pm 10 \%$ /-15 %		100,0 %
Variaciones rápidas de tensión	Número de eventos tipo escalón de tensión de hasta el 10 % de $U_N$	Indicación 1		
Severidad del parpadeo	$P_R$ (2 horas)	<1	Cada semana	95 %
Huecos de tensión	Número de eventos (con $U < 0.9U_N$ )	Indicación 2	Al año	
Interrupciones breves de la tensión	Número de eventos (con $U < 0.01U_N$ Y $t < 3$ min.)	Indicación 3	Al año	
Interrupciones largas de la tensión	Número de eventos (con $U < 0.01U_N$ Y $t > 3$ min.)	Indicación 4	Al año	
Sobretensiones (50 Hz)	Número de eventos (con $U > 1.1U_N$ Y $t > 3$ ms)	Indicación 5		
Sobretensiones transitorias	Número de eventos (con $U > 1.1U_N$ Y $t < 3$ ms)	Indicación 6		
Desequilibrio de la tensión	Promedio de la $U_{inv}/U_{dir}$ de cada ciclo en 10min	< 2 %	Cada semana	95 %
Tensiones armónicas	Para cada armónico i , promedio de la $U_i/U_N$ en cada ciclo durante 10min	Ver tabla	Cada semana	95 %
	Promedio del THD de la tensión referido a $U_N$ en cada ciclo durante 10min	< 8%	Cada semana	95 %
Tensiones Interarmónicas	Por estudiar			
Transmisiones de señales	Tensión eficaz de la señal transmitida promediado en 10s	Ver tabla	Cada día	99 %

## ANEXO 2

**Figura 1:** Vista en planta de las áreas que componen la Universidad de Granma.





**ANEXO 3****Tabla 2.** Datos técnicos y energéticos de los equipos principales con motores eléctricos de las diferentes áreas de la UDG.

Área	Equipo	Datos del Motor eléctrico							
		Marca	Voltaje (V)	Corriente (A)	F. P	Potencia (kW)	h/mes	Energía (kWh/mes)	Energía (kWh/mes*área)
Taller mecanización	Piedra esmeril	S/M	220	3,3	0,75	0,63	1	0,63	0,63
Cocina - Comedor	M. de carne	EDESA	220	4,9	0,8	1,1	10	11	292
	Rebanadora	SAMMIC	220	2	0,75	0,3	20	6	
	Puretera	S/M	220	17,5	0,8	5,5	50	275	
Bombeo de agua	Bomba 1	WEG	220	19,1	0,87	5,5	150	825	1972,38
	Bomba 2	MOTOP	220	26,2	0,85	7,5	150	1125	
	Bomba 3	SIEMERS	110	24	0,85	1,492	15	22,38	
Transporte	Taladro Vertical	ELIROM	220	4,9	0,86	1,6	10	16	922,3
	Piedra esmeril. T	S/M	220	3,3	0,75	0,63	10	6,3	
	Torno	S/M	220	26,2	0,85	7,5	120	900	
Generación de vapor	B. Combustible	LENZE	220	2,8	0,8	1,3	60	78	213
	B. agua	S/M	220	5	0,85	1,6	60	96	
	M. quemador	SEIPEE	220	3,2	0,75	0,65	60	39	
Mantenimiento	Gaslopa	S/M	220	7,5	0,85	2,43	24	58,32	728,64
	Sierra	S/M	220	15	0,84	4	120	480	
	Lijadora	S/M	220	17,5	0,8	5,5	24	132	
	Plana	S/M	220	7,5	0,85	2,43	24	58,32	