



1.0 LAS MEDIDAS ELECTRICAS

1.1 CARACTERISTICAS GENERALES

Los instrumentos de medida pueden clasificarse en instrumentos instantáneos (de inducción) y de inscripción (registradores). A su vez pueden ser fijos o portátiles, las principales cualidades exigibles a un equipo de medida son:

- ✓ Fiabilidad
- ✓ Selectividad
- ✓ Facilidad de manejo y sencillez de mantenimiento.

1.2 FIABILIDAD.

Por fiabilidad se entiende la exactitud o precisión en la medida así como la sensibilidad ante factores externos que puedan alterar las mediciones. Desde el punto de vista de la exactitud, los aparatos de medida se clasifican en siete grupos, cuya utilización y denominación (clases de precisión) se dan a continuación:

Clases de precisión:

CLASE DE PRECISIÓN	UTILIZACIÓN
0.1, 0.2, 0.5	Instrumentos de precisión
1, 1.5, 2.5, 5	Instrumentos Industriales

Un instrumento con clase 1 quiere decir que en condiciones normales de medición presenta un error Máximo de indicación del 1 % del valor final del campo de medida. Este error de indicación de los aparatos es debido a los factores externos al instrumento de medida que pueden influir en que aumente el error de indicación.

Entre los factores externos mas influyentes se destacan:

- ✓ Posición del aparato diferente de la nominal
- ✓ Influencia de la temperatura ambiente
- ✓ Variacion de la tensión nominal
- ✓ Influencia de campos magnéticos extraños, etc.

Habrà que tener en cuenta, en las mediciones realizadas, si existe alguno de estos factores que puedan falsear la medida, sobre todo la temperatura ambiente y la posición.



Los instrumentos de medida industriales tienen que ser capaces de aguantar cargas de punta de hasta 10 veces la corriente nominal, y dos veces la tensión nominal. Amperímetros y voltímetros deben de ser capaces de soportar de modo permanente una carga de 1.2 veces el valor final del campo de medida. Los vatímetros y fasímetros tienen que soportar 1.2 el valor de intensidad y tensiones nominales.

Todos los aparatos de medida deben tener inscritos los siguientes datos:

- ✓ Unidad de la magnitud a medir :V, A, Kw, etc.
- ✓ Número indicativo de la clase de precisión
- ✓ Símbolo de la clase del sistema de medida.
- ✓ Clase de corriente (continua, alterna, etc.)
- ✓ Tensión de ensayo.
- ✓ Posición nominal de funcionamiento (vertical, horizontal, etc.)

1.3 SELECTIVIDAD

La selectividad de un instrumento de medida se refiere a la cantidad mínima que puede distinguir claramente, al realizar la medida de una determinada magnitud eléctrica.

Naturalmente la selectividad exigida de un aparato de medida dependerá de la clase de equipo, instalación o proceso que se vaya medir. Por ejemplo para un motor de alta tensión, de 3000 V no es lógico que la selectividad de un voltímetro sea muy grande.

En los aparatos portátiles de medida, la selectividad requerida se puede lograr mediante campos de medida conmutables, es decir con la utilización de varias escalas. Por ejemplo, para un amperímetro , con tres campos de medidas conmutables, de 6, 30, 60 Amperios, en la primera posición (primera escala) la longitud final de la escala representa 6 A; colocado en la segunda posición conmutable, la longitud de la escala son 30 A, y en la tercera la longitud final de la escala presenta 60 A.

De esta forma, para intensidades pequeñas (menos de 6 A), se elige la primera escala, para intensidades intermedias, la segunda, y para intensidades mas altas (30 a 60 A) se elige la tercera.

1.4 Facilidad de manejo y sencillez de mantenimiento

Se debe procurar utilizar aparatos de medida (sobre todo en instrumentos portátiles) cuyo manejo sea fácil, con unas instrucciones de mantenimiento claras y sencillas que indiquen con precisión:

- ✓ Como y donde medir
- ✓ Accesorios necesarios



- ✓ Esquemas de conexión
- ✓ Forma de cambio de una escala de medidas a otras.
- ✓ Forma de cambio para medir diferentes magnitudes.

Por otro lado el mantenimiento de los equipos de medida, deberá ser sencillo con instrucciones claras dadas por los fabricantes; tanto los instrumentos fijos como los portátiles, deben encontrarse en todo momento en condiciones óptimas de utilización.

2.0 PRINCIPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO

Los diferentes principios físicos en que se basan su funcionamiento los instrumentos de medida dan lugar a las distintas clases de sistemas de medida, cuyas principales características y campos de utilización resumiremos a continuación.

2.1 Sistemas electromagnéticos de medida.

Se caracterizan por la interacción entre imanes permanentes o bien elementos de hierro con bobinas que son atravesadas por corriente. En esta interacción se producen un par mecánico que hace girar el elemento móvil al que va unida la aguja (producido por un resorte en espiral), estableciéndose en ese momento la medida pues el ángulo girado es proporcional a la magnitud (tensión o intensidad) que se mide.

Los aparatos cuyos principios de medición se basan en electromagnetismo se utilizan para medición de voltajes y corrientes continuas y alternas, son muy aplicables en el campo industrial.

2.2 Sistemas electrodinámicos de medida

Los aparatos de medida de esta clase, constan de una bobina fija y otra bobina móvil giratoria, que es desviada por efecto electrodinámico al pasar corriente por ambas bobinas.

Este sistema es utilizado normalmente para vatímetros, pues si la bobina móvil se conecta la tensión de un sistema eléctrico (Circuito de tensión), y por la bobina fija se deja circular la intensidad del mismo sistema, se obtiene una desviación de la aguja, proporcional al producto de las componentes en fase de estas magnitudes ($V \cdot I \cdot \cos \phi$) es decir, se mide la potencia activa.

Se emplea este sistema también, en varímetros (medidor de potencia reactiva) y fasímetros (para medir el factor de potencia).

2.3 Sistemas de inducción

Este sistema es el empleado para contadores de corriente alterna; consta de bobinas atravesadas por la corriente, y conductores móviles en forma de disco o tambor, que giran



al inducirse en ellos corrientes electromagnéticas. La velocidad de giro es proporcional a la energía consumida, utilizándose por ello como contadores.

2.4 Sistemas electrostáticos

Consta de varios electrodos, unos fijos y otros móviles, que al aplicársele tensión son desviados por efecto electrostáticos. Se utilizan para voltímetros.

2.5 Sistema electrotérmico

Estos aparatos consta de un sistema bimetalito el cual, al calentarse debido al paso de la corriente se dilata, produciéndose la medida. Se utilizan como máxímetros y amperímetros preferentemente.

2.6 Sistemas de Vibración

Consta de elementos vibratorios, lengüetas de acero que, bien por medios electromagnéticos o bien por medios electrostáticos, entran en resonancia, su utilización preferentemente es como frecuenci metro de corriente alterna.

2.7 Sistema electrónico de medida.

Esta categoría agrupan un gran número de instrumentos de medida normalmente de precisión, en los cuales mediante elementos electrónicos se realiza la medida transformando la señal a medir en señales digitales.

3.0 TIPOS DE APARATO

Los instrumentos de medida se pueden clasificar en tres tipos:

Instantáneos: Da una indicación de la medida en cada instante sin registro.

Registradores: Los valores de la medida quedan registrados gráficamente y muestran la variación con el tiempo de las distintas magnitudes eléctricas.

Contadores : Sirven para conocer la energía consumida durante un período de tiempo.

3.1 Instrumentos instantáneos

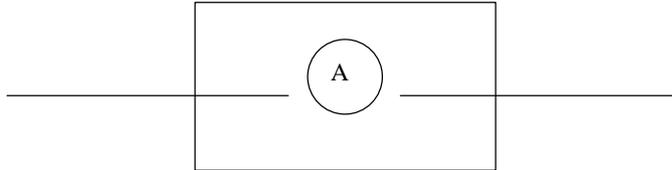
3.1.1 Amperímetros

Sirven para medir intensidades de corriente. Los campos de medida van desde valores del orden de miliamperios hasta 100 A, tanto en corriente alterna como en continua en conexión directa. Como se ve en la figura 1, para medir la intensidad de un circuito habría que interrumpirlo para conectar el amperímetro en serie.



Esto es engorroso y la mayor parte de las veces imposible en las instalaciones industriales.

Figura N° 01

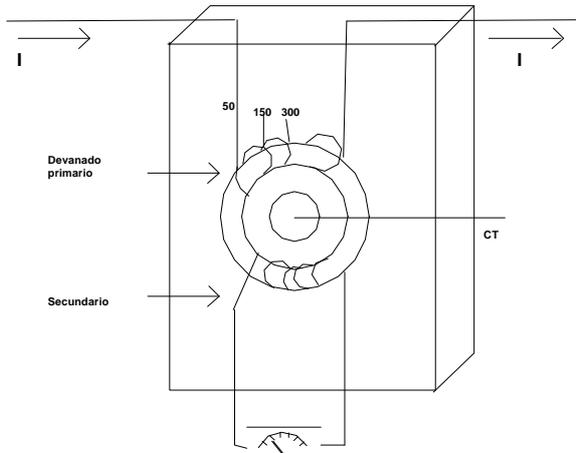


Normalmente en las instalaciones industriales, suelen encontrarse magnitudes de corriente muy elevadas, que sobrepasan los rangos de medición de los amperímetros. En consecuencia se debe valer de un medio externo que permite realizar la medición con el amperímetro. Existe el llamado transformador de corriente (CT), el cual esta constituido por un núcleo magnético y dos devanados denominados primario y secundario.

El devanado primario se conecta al conductor al cual se le va a medir la corriente, o l del cual se va tomar la señal, y en general tienen varias entradas para permitir la variación en rango.

El devanado secundario se conecta al amperímetro y normalmente produce una corriente de 0 a 5 Amperios. El valor leído en el amperímetro debe multiplicarse por la relación de transformación del CT.

Para medir corrientes que superen el rango del transformador de corriente, suelen utilizarse la ventana del CT. De esta forma, en lugar de utilizar las entradas normales del CT, el conductor se enrolla varias veces en la ventana del CT. En la placa de características de los transformadores aparecen las relaciones de transformación obtenidas si se tienen un conductor, 2 conductores o tres conductores a través de la ventana. (figura).



En estos casos se utilizan amperímetros especiales, que llevan acoplados un transformador de corriente en forma de pinzas. El núcleo de este transformador se abre como unas pinzas abrazando el conductor cuya intensidad queremos medir: El conductor constituye el arrollamiento primario del transformador; el secundario se aloja dentro del aparato. La intensidad va a un amperímetro montado en la misma pinza o bien a un amperímetro externo donde se mide la intensidad.

3.1.2 Voltímetros

Sirven para medir tensiones. En conexión directa (ver figura) se fabrican con campos de medida hasta 600 V.

Conexión directa



Para tensión superiores en corriente continua se utilizan divisores de tensión; en corriente alterna se utilizan transformadores de potencial comúnmente llamados PT o TP (ver figura).

El transformador de potencial es un transformador de devanado especialmente con un primario de alto voltaje y un secundario de baja tensión. Su potencia nominal es muy pequeña y su único propósito es entregar una muestra del voltaje del sistema a los instrumentos de medición. Como finalidad principal es el muestreo de la tensión, debe ser muy preciso para que no distorsione los valores verdaderos.

En la practica es posible conseguir transformadores de potencial de diferentes rangos de precisión para distintas aplicaciones, en donde las mas importantes son medida y protección.

3.1.3 Vatímetros y Varímetros

Sirven para medir la potencia activa y la reactiva en corriente alterna en conexión directa. Se construye para intensidades de hasta 5 A y tensiones menores de 600 V. Para medir tensiones e intensidades superiores es preciso utilizar transformadores de tensión y de corriente. Los varímetros o vatímetros de potencia reactiva no suelen utilizarse en redes monofásicas, ya que por medición indirecta, la potencia reactiva es igual a :

$$Q = \sqrt{(V^2 * I^2) - P^2}$$

En la figura se muestra la conexión típica del un vatímetro.

3.1.4 Fasímetros

El factor de potencia, $\cos \phi$ de una instalación puede conocerse, bien por medida directa mediante aparatos llamados fasímetros, o bien de forma indirecta, a partir de valores medidos de otras magnitudes de la red.

Los fasímetros se fabrican en ejecución fija para tableros y también en ejecución portátil. Existen fasímetros de pinzas para instalaciones monofásicas y trifásicas equilibradas. En las mediciones indirectas el factor d potencia se obtiene a partir de valores de otras magnitudes de la red, tales como potencia, voltaje y corriente.



3.1.5 Frecuencimetro.

Los más utilizados son los de lengüetas, consistentes en una serie de lengüetas de acero que son excitadas por un electroimán. Las lengüetas, cuya frecuencia propia de vibración es próxima a la de la red, entran en resonancia marcando la medida.

3.1.6 Multímetro.

Los instrumentos registradores son aquellos que anotan gráficamente el valor de las magnitudes que se quiere medir, comprobándose así la variación de éstas a lo largo del tiempo.

Con registradores múltiples pueden registrarse a la vez varias magnitudes eléctricas. El accionamiento de arrastre del papel, puede ser por mecanismos de relojería con cuerda, o bien por motor síncrono.

4.0 CONTADORES DE INDUCCIÓN

Desde que en las últimas décadas del siglo pasado se inició la producción y venta de energía eléctrica, existe la necesidad de medir su consumo. El contador se introdujo a finales del siglo y desde aquel entonces el procedimiento de medir el consumo de electricidad no ha variado.

Los contadores eléctricos de inducción son los elementos utilizados para determinar la cantidad de energía activa (Kwh.) o reactiva (kVAR) consumida por una carga. Ya que la energía eléctrica tiene por expresión:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} E * Idt - \int_{t_1}^{t_2} Pdt$$

Que representa una sumatoria de potencias P (t), producidas en cada instante dt, durante un lapso de tiempo entre t1 y t2 . Gráficamente se puede representar la energía por el área bajo la curva de la figura.



Dispositivo para la medida de energía debe contener entonces un elemento medidor de potencia instantánea P , como el vatímetro, y de un segundo elemento, medidor del tiempo durante el cual se esta produciendo dicha potencia. Viene a ser en realidad un motor eléctrico cuyo par o momento de giro es proporcional al producto instantáneo $V \cdot I \cos \phi$ (para mediada de KW activos) y cuyas revoluciones dan el factor tiempo. Estas magnitudes, momento de giro y tiempo, deben ser producidas por el aparato (contador de kWh) con la máxima exactitud.

4.1 Estructura del mecanismo de medida

Los contadores actualmente utilizados constan de los siguientes elementos básicos:

1. Bobina de tensión, dispuesta en paralelo con la carga, con núcleo en I y bobinado de alambre delgado por el cual circula una corriente I_v proporcional a la tensión V de alimentación.
2. Bobina de corriente, dispuesta en serie con la carga, con núcleo en U y bobinado de alambre grueso y por el cual puede circular una corriente de hasta 6 veces la nominal para efectos de posible sobrecarga.

Cada una de estas bobinas producen sus respectivos campos magnéticos alternos, proporcional el primero a I_v y el segundo a la corriente tomada por la carga I .

3. Disco de aluminio (rotor), de material metálico y liviano para mínima inercia, suspendido en cojinetes de rozamiento infimo.
4. Contador mecánico de revoluciones (Integrador) en el cual van quedando consignadas las vueltas que da el disco mientras las bobinas estén simultáneamente activadas por las corrientes I_v e I .

Existen otros mecanismos constitutivos adicionales como son los mecanismos de regulación y freno utilizados para la calibración del contador.

4.2 Principio de funcionamiento

El momento motor se produce de la manera siguiente. La bobina de tensión genera un flujo alterno sinusoidal ϕ_v ; la bobina de corriente genera a su vez el flujo ϕ_I . Estas dos bobinas deben estar construidas de tal manera que el desfase entre los dos flujos, para $\cos \phi = 1$ sea de 90 grados, como se indica en la figura.



Los círculos representan el disco de aluminio y los pequeños cuadros la posición relativa de los polos de las bobinas B_v y B_i de tensión y corriente respectivamente. Considérese tres instantes sucesivos separados por un cuarto de período. En el instante 1 el flujo es máximo en la bobina de corriente B_i , produciéndose en sus dos ramas los polos N y S. En este mismo instante, el flujo de la bobina de tensión B_v es cero. En el instante 2 el flujo de la bobina de corriente es cero y el de la bobina de tensión es máximo apareciendo el respectivo polo N. En el instante 3 el flujo de las bobinas de corriente es máximo pero de polaridad inversa S y N, y el de la bobina de tensión vuelve a ser cero.

Se puede continuar con esta secuencia indefinidamente observándose que, por ejemplo el polo norte N aparenta desplazarse en el disco de izquierda a derecha. Este desplazamiento o traslado de los polos induce en el disco tensiones y corrientes de corto circuito que hacen comportarse como el inducido de un motor de inducción de campo magnético rotatorio, en este caso traslatorio. El momento par motor M tiene la siguiente expresión.

$$M = K \cdot W \cdot \Phi_v \cdot \Phi_I \cdot \sin \alpha$$

En donde K es una constante constructiva, W la velocidad angular de la tensión y corriente (frecuencia), Φ_v y Φ_I los flujos de las bobinas de tensión y corriente y $\sin \alpha$ igual al $\cos \alpha$ o factor de potencia de la carga. Este par o momento motor acelera el disco hasta cuando lo iguala el momento de frenado que es a su vez proporcional a la velocidad.

Un valor muy importante en el contador es la constante C , que es el número de revoluciones del disco por unidad de energía. Por ejemplo si $C = 4$ vueltas/ Kwh., quiere decir que cuando el disco haya girado cuatro veces se habrá consumido una energía igual a 1 Kwh.

4.3 Curvas de error

Un mecanismo de medida de inducción está sujeto a diferentes influencias secundarias. Así las distintas curvas características de error están caracterizadas por la influencia de la permeabilidad del hierro de corriente, por el roce de los cojinetes y por la amortiguación de la corriente y tensión, por lo tanto del efecto de frenado de corriente parásita, que ejercen los flujos motrices sobre el disco rotor. Todo valor de medida depende además de la tensión, de la frecuencia y de la temperatura; inclusive, por una disposición inclinada del contador, pueden producirse fallos adicionales.

A diferencia de los instrumentos de medida el error de indicación de un contador se refiere no al valor final el margen de medida, sino al valor nominal de cada punto de medida. El margen de medida se inicia en el 5 % de la corriente nominal y termina según el dimensionamiento del contador en el 300, 400 o 600 %, dentro de éstos márgenes los errores no deben exceder los límites de error prescritos legalmente o por las asociaciones técnicas. Como indican las curvas, los errores en dependencia de la carga con un ajuste



óptimo del contador, oscilan entre + - 5 %. Los errores adicionales por variación de la tensión y frecuencia son reducidos, la dependencia de la temperatura representa aproximadamente únicamente el 0.03 % por cada 1° de variación de la temperatura para $\cos \phi = 1$

Adicionalmente, debe decirse que a pesar de que las variaciones no son muy grandes, para cada una de las variables (voltaje, frecuencia, magnitud de carga y temperatura) puede presentarse una desviación significativa en la medida del contador, ocasionado por un efecto combinado de todas ellas.

4.4 Esquemas de conexión típicos

4.5 Contadores reactivos de electricidad

Con excepción de algunas resistencias adicionales y el esquema de conexiones interno, la construcción de los contadores para medición del consumo reactivo, se parece a aquella de un contador de Kwh. normal.

Las conexiones externas son idénticas para ambas ejecuciones.

Los contadores reactivos pueden ser fabricados en las siguientes alternativas.

- ✓ Cruzamiento de fases con desplazamiento e fases de 120° entre corriente y tensión (para consumo trifásico trifilar).
- ✓ Cruzamiento de fases con desplazamientos de fases de 90° entre corriente y tensión (para consumo trifásico tetrafilar).

Los contadores para medición de energía reactiva en forma general vienen equipados con un equipo anti – retroceso y en la conexión a la red es preciso fijarse en la secuencia de fases correcta R-S-T.

4.5.1 Contadores reactivos, cruzamiento de fases, 120° desplazamiento de fases .

Estos contadores llevan resistencias en serie en los circuitos de las bobinas derivadas, siendo éstas conectadas a una fase distinta a aquellas a la cual esta conectada la bobina de corriente.

Ocurre ala siguiente relación entre las bobinas derivadas y en serie :

- ✓ Bobina de serie fase R en derivación fases ST.
- ✓ Bobina de serie fase T en derivación fases RT.

El desplazamiento entre los vectores de serie y derivación , es de 90° en un caso de 150° en el otro; por consiguiente, se asemeja al método de los dos vatímetros.



Los ángulos de 0° y 180° entre los campos de corriente y potencial, son obtenidos por resistencias en serie intercaladas con los circuitos de tensión. Los ángulos respectivos para el método de los vatímetros son de 150° y 120° o -30° y $+30^\circ$ respectivamente.

4.5.2 Contadores reactivos, cruzamiento de fases, desplazamiento de fases 90°

para esta clase de contadores, los vectores de corriente y potencial están en cuadratura cuando son trabajados con factor de potencia unitaria a sea $\text{sen}\phi=0$.

Figura 6.14:

Un desfase de 90° con un desplazamiento de 180° entre campos de corriente y potencial, en estas formas son obtenidos sin el uso de cualquier resistencia especial. Ocurren las siguientes relaciones entre las bobinas de derivación y en serie:

- ✓ Bobina en serie fase R con bobina en derivación fase ST.
- ✓ Bobina en serie fase S con bobina en derivación fase TR.
- ✓ Bobina en serie fase T con bobina en derivación fase RS.

Estos contadores reactivos son prácticamente contadores normales con la excepción de que las bobinas de derivación son dimensionadas por la tensión concatenada y conectadas como se muestra en el diagrama. El conductor neutro no se utiliza para las bobinas de derivación.

4.6 Contadores de demanda máxima:

Para sistemas tarifarios en los que se cobra a los usuarios a partir de una cierta capacidad (en Kw), en adelante, consumida en cada periodo de facturación, es necesaria la utilización de un dispositivo indicador de demanda máxima o maxímetro, de los se encuentra diversos tipos, bajo el mismo principio de funcionamiento.

Registra la máxima potencia instantánea sería cobrara los picos de los arranques de los motores de cualquier transitorio de corriente que en realidad no afecta la red. Para evitar esto se hace una integración durante un periodo fijo de tiempo (en Colombia son 15 minutos) y se registra la potencia promedio en este periodo.

Existen maxímetros de agujas que consisten en un sistema de escala de 180° con dos agujas, una máxima y la otra de arrastre que regresa a cero al terminar cada periodo de integración y arrastra la aguja de máxima.



Este sistema se presta errores de lectura, sin medio de verificación del valor leído y borrado en cada periodo de facturación.

rodillo de arrastre retorna a cero cada vez que el valor de rodillo de arrastre supere el valor registrado en el de máxima . este sistema cuenta con un máxímetro acumulativo de tipo digital que se incrementa únicamente cuando se hace reposición (reset) manual o eléctrica realizada con la lectura del medidor en cada periodo de facturación.

El consumo real indicado por el máxímetro será entonces entre la lectura actual y la anterior .

Adicionalmente se puede contar con indicador del número de retrocesos para control de lecturas del medidor.

En casos especiales, donde la lectura se hace para varios periodos de facturación, se incluye un máxímetro progresivo y se hacen los retrocesos desde un centro de control con una señal eléctrica en cada periodo de facturación. El máxímetro progresivo solo se puede retroceder manualmente.

Se debe de tener en cuenta que por lo general, el rodillo de máxima indica una potencia para ser multiplicada por una constante, indicada en la placa característica o indica un porcentaje de la potencia indicada también en la placa, mientras que en le máxímetro digital se lee directamente en Kw. y solo se cera afectado por el factor del contador.

Los máxímetros mas modernos son del tipo controlado o desconectable y consisten un control adicional para conectarlo solamente por un determinado horario diario. Esto se hace con el fin de registra la demanda máxima únicamente en el periodo pico de la electrificadora , que coincide en Colombia con la tarifa de lata energía (medidores de doble tarifa) y dejar desconectado el máxímetro el resto del día.

4.6.1 Múltiple de demanda máxima :

También existen medidores de doble máxímetro (triple etc.) al cual le aplican tarifas diferenciales en los distintos horarios del distribuidor. Se emplean actualmente en Colombia doble demanda máxima para acometidas de 44 KV y mayores tensiones. El control se hace con un reloj de conmutación programado para conectar cada máxímetro con su respectivo horario.

4.7 Registradores de energía:

Cualquiera de los instrumentos utilizados para medir el consumo de energía pueden registrar su indicación si se les dota de los dispositivos adecuados para tal fin. Estos pueden ser:

- ✓ Registradores de pluma sobre papel milimetrado y dimensionado a las escalas apropiadas .
- ✓ Señal luminosa sobre papel fotográfico.
- ✓ Cabeza magnética sobre cinta.
- ✓ Cintas o tarjetas perforadas.



En la actualidad y para implementación en la industria, se encuentra en el mercado los denominados analizadores de red que consisten un sistema electrónico basados en un microprocesador de alta velocidad encargado de medir, visualizar, analizar, calcular en memoria los parámetros eléctricos de mayor interés que han de ser monitoreados en el tiempo. Tales dispositivos son dotados de periféricos como impresora para registrar en forma gráfica o numérica el valor de los parámetros solicitados ya sea por petición del usuario o en forma automática, en el momento de producirse los valores de los parámetros que hayan alcanzado un valor una duración pre establecida.

Todas las facilidades de ejecución que permite el dispositivo anterior encaminadas a realizar un análisis detallado y realizar la gestión de los consumos de energía con el fin de controlar los diferentes niveles de uso de energía, como por ejemplo el consumo de horas punta que en nuestro medio resulta crítico por las altas tarifas de facturación a la industria durante este periodo, para tal fin dispone de los relés de salida controlados por las condiciones de alarma programadas y que permiten limitar o distribuir de forma adecuada el consumo de energía eléctrica.

El dispositivo mide variables como voltaje, corriente, frecuencia, calcula valores de potencia activa, potencia activa trifásica, $\cos\phi$ promedio, potencia reactiva trifásica etc. Además por medio de transductores, dependiendo del sofisticado elemento, puede medir niveles de iluminación, temperatura, revoluciones por minuto, impedancia, humedad, ruido, peso, acidez, etc.

5.0 Objetivos de la medida

Hay tres razones importantes para la medición de energía y adicionales a la necesidad de determinar el funcionamiento el estado del sistema eléctrico.

- ✓ Proveer datos para una auditoría energética
- ✓ Dar una distribución apropiada de los costos de la energía eléctrica a departamentos o secciones de manera individual basados en las lecturas de los medidores.
- ✓ Proveer datos históricos sobre los cuales basar los estándares de electricidad para un producto facturado o un servicio ofrecido, y evaluar el desempeño contra el estándar.

Auditorías basadas en sistemas de medida bien diseñados frecuentemente dan resultados sorprendidos y puede identificarse ahorros considerables.

Los resultados obtenidos de una auditoría normalmente están en proporción directa a los efectos esperados. Por ejemplo en el control de la demanda de 1Kw, muchos industriales están de acuerdo sobre una inspección de las cargas de la planta para identificar cuáles de



ellas son candidatas apropiadas para un deslastre de carga . en algunos casos, los industriales reconocen la necesidad para tal inspección pero subestiman el tiempo y el personal requeridos para realizar el trabajo completo .

Si se desea información verdaderamente útil se hace evidente la necesidad de usar el método dela inspección estandarizado. Usualmente se utilizan formatos especiales para tabular todas la carga s de aproximadamente 5 KVA o mas grandes; uno de estos formatos pueden ser usados para cada barraje o centro de control de motores.

Con respecto a auditorias de sistemas de potencia eléctricos, los resultados dela s medidas pueden ser usados para recopilar perfiles de energía que permiten :

- ✓ Ayudar a establecer y perfeccionar el uso de engría por línea de producto, departamento o área.
- ✓ Establecer y mejorara el uso racional de energía.
- ✓ Permite la evaluación en la reducción de costos.
- ✓ Ayuda a determinar la eficiencia de equipos y factores de carga para analizar los resultados que varíen con los estándares pre establecidos.

En resumen un perfil de energía probablemente revelaran en donde los proyectos de conservación serán mas beneficiosos.

La segunda razón para las medidas implican la necesidad de distribuir exactamente las cargas de energía en cada departamento o sección un periodo base . anteriormente solamente medidor sencillo de Kwh estaba disponible, y ere usualmente el punto de medición dela empresa.

La tendencia es proveer medidas suficientes para identificar completamente los usuarios y permitir que las cargas sean asignadas a los departamentos de manera individual.

Una vez un sistema de medición ha sido instalado y se encuentra en operación, se puede esperar u ahorro de 1% como resultado de la detección de pérdidas en el sistema

La medición puede ser costosa el costo de instalación de medidores de Kwh esta usualmente entre 100 y 1000 dólares. Una forma de mantener los costos en un mínimo es medir el consumo de ciertos departamentos tomando la diferencia entre los medidores.

La figura 6.15:

La figura 6.15: ilystar el concepto, el contador A mide el consumo total de electricidad suministrada por el transformador, los medidores B y C miden los consumos por los departamentos B y C y el consumo en el departamento D es determinado por:



$D=A-(B+C)$

Algunos problemas típicos en el establecimiento de un sistema de medida de primera clase incluyen:

- ✓ Fondos insuficientes para monitorear los circuitos deseados.
- ✓ Localización deficiente de conductores que no permiten una apropiada localización de mecanismos como los transformadores de potencial PT y los transformadores de corriente CT.
- ✓ Cargas que no pueden ser detenidas o desconectadas para permitir la conexión de mecanismos de medida apropiados.
- ✓ Medidores han de ser ubicados en lugares de difícil acceso o sitios peligrosos.
- ✓ Ingenieros que no están familiarizados con lo que se necesita y carecen de personal entrenado en calibración y mantenimiento.
- ✓ Fondos inadecuados para mantenimiento y partes de repuesto
- ✓ Carecer de tiempo y personal calificado para tomar las lecturas de los medidores.
- ✓ Lecturas de los medidores que no reconocen (por ejemplo, medidores que indican una mayor energía consumida que la comprada por la empresa.

La tercera para la medida e incluye el recoger datos históricos de consumo sobre los cuales basar los datos estándares y entonces evaluar el funcionamiento contra dicho estándar. Por ejemplo suponga un estándar de 1Kwh /lb de un determinado producto en un departamento.

Durante la primera semana, tal departamento consume 1000 Kwh. para producir 1000 lb la relación de consumo sería:

$$\frac{1000kWh}{1000lb} = 1 \frac{kWh}{lb}$$

El valor es graficado en el día 7 de la gráfica 6.16 y representa lo esperado, un funcionamiento eléctrico satisfactorio.

Grafica 6.16:

La segunda el departamento mejora su desempeño a solo 960Kwh se requieren para producir 1000 lb. ahora la relación será:



$$\frac{960kWh}{1000lb} = 0.96 \frac{kWh}{lb}$$

La variancia calculada es:

$$\text{Varianza} = \frac{\text{Estandar} - \text{Actual}}{\text{Estandar}} 100\%$$

$$\frac{1.0 - 0.96}{1.0} * 100\% = \frac{0.04}{1} * 100\% = + 4\%$$

Este valor es graficado en el día 14 . la tercera semana el departamento s descuido y consumió 1024 Kwh para producir 1000 lb ahora la relación es:

$$\frac{1040kWh}{1000lb} = 1.04 \frac{kWh}{lb}$$

la variancia calculada es:

$$\text{Varianza} = - 4\%$$

Este día desfavorable es graficado en el día 21.

Para el fin del mes, mas puntos podrían caer por debajo de la línea estándar que por encima . el valor absoluto para cualquier semana dada no es tan significativo como la pendiente de la curva entre los puntos graficados semanalmente. Es siempre deseable para la curva de variancia una tendencia ascendente. Siempre que hay puntos graficados por debajo de cero la línea de la variancia que puede indicar un desempeño pobre, pero esto también puede indicar que el estándar es muy exigente.

En forma similar, puntos que siempre están por encima de cero la línea de variancia puede indicar un buen funcionamiento o indicar que el estándar no es muy exigente.

Tomar las lecturas de los medidores con una mayor frecuencia preferiblemente tantas lecturas como cambios haya, pueden revelar información útil tal como:

- ✓ Mala lectura de los medidores
- ✓ Error en los medidores



- ✓ Cambios en la carga debido a los cambios en la producción.
- ✓ Mayores y menores cambios en la eficiencia
- ✓ Necesidad de mantenimiento..

6.0 METODOS SUGERIDOS PARA MEDICIONES DE P, Y Q Y COS Ø

El disco de un contador de Wh o Kwh. puede girar media o una vuelta completa por Wh o Kwh. dependiendo de la constante del medidor Kwh.

El número de vatios hora para un período de tiempo es entonces el producto del número de vueltas del disco por la constante del medidor. La velocidad de giro del disco, por lo tanto, indica la rata de uso o los vatios que han que han sido usados. El kilovatio es una cantidad mas razonable para medir la rata de consumo y la siguiente fórmula puede ser usada cuando se mide el tiempo del disco:

$$PTR = (kWh \text{ Wh} / rev)$$

$$CTR = (3600 \text{ s} / h)$$

$$\text{Kilovatios} = \frac{(kWh / rev) * (3600s / h)}{1000W / kW} * (rev / s)$$

$$\text{Kilovatios} = 3.6 * PMC * (rev/s)$$

Donde :

PTR : Relación del transformador de potencial

CTR : Relación del transformador de corriente

Kh : Constante del medidor encontrado sobre una cara del medidor.

REV : Revoluciones del disco durante el período de observación

S: Período de observación en segundos

PMC: Constante primaria del medidor.

$$= kh * (PTR * CTR)$$

Esta sección presenta algunos métodos con los cuales se pueden obtener mediciones de potencia activa, reactiva y cos Ø mediante métodos directos e indirectos. Se considera de gran importancia debido a que en una industria para realizar la toma de medidas.

6.1 Mediciones de potencia



a. Medición directa – método de los tres Vatímetros

Se utilizan para la medición de potencia activa en circuitos trifásicos balanceados y desbalanceados.

La potencia será la suma de las tres lecturas proporcionadas por los vatímetros. Esto es:

$$P_{3\phi} = W_A + W_B + W_C$$

b. Medición directa – Método de los Dos vatímetros

Empleados en circuitos trifásicos balanceados y desbalanceados de tres hilos..

$$P_{3\phi} = W_A + W_B$$

(la suma debe ser algebraica, es decir que debe tener en cuenta los signos de las mediciones)..

Esta conexión permite indirectamente el ángulo de fase y por lo tanto el factor de potencia.

$$\tan \phi = \frac{W_2 - W_1}{W_2 + W_1}$$

Esta expresión es válida solamente para cargas balanceadas.

6.2 Medición indirecta de la Potencia activa, reactiva y aparente

Para circuitos trifásicos balanceados puede obtenerse la medición de potencia mediante un amperímetro, un voltímetro y un fasímetro. En consecuencia:

$$P_{1\phi} = V * I * \cos \phi$$

V: lectura del voltímetro

I: Lectura del Amperímetro

Cos ϕ : Lectura del fasímetro.



La potencia trifásica será tres veces la potencia monofásica puesto que es un circuito balanceado. Entonces,

$$P_{3\phi} = 3 (P_{1\phi})$$

Adicionalmente, este método permite la medición indirecta de la potencia aparente y la potencia reactiva. Esto es :

$$S = \sqrt{3}V * I \quad \text{Potencia Aparente}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad \text{Potencia Reactiva}$$

6.3 Medición indirecta del factor de potencia

a. Mediante vatímetro, amperímetro y voltímetro :

$$\text{Cos } \theta = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3}V_L * I_L}$$

b. Mediante las lecturas de los contadores de energía activa y energía reactiva.

$$\text{Cos } \theta = \frac{W_A}{\sqrt{W_A^2 + W_R^2}}$$

W_A : Lectura del contador d energía activa

W_R : Lectura del contador d energía reactiva.

c. Mediante las lecturas del contador de energía, amperímetro y voltímetro. Conociendo C (la constante del contador) y contabilizando el número de vueltas N que da el disco en un minuto se puede calcular:



$$P = \frac{N * 60}{C}$$

Donde:

N * 60 número de vueltas en una hora

C : Vueltas/ kWh

Entonces : $S = \sqrt{3} V_L * I_L$

De donde V_L e I_L Se obtienen del voltímetro y del amperímetro respectivamente. El voltaje en Kilovoltios y al corriente en amperios.

$$\text{Cos } \phi = \frac{P(kW)}{S(kVA)}$$

7.0 SELECCIÓN DE EQUIPOS DE MEDIDA ELECTRICA

Una gran variedad de medidores se encuentran disponibles casi para cada medida deseada, los medidores se han dividido principalmente en dos tipos: Indicadores y registradores.

Los del tipo indicador son usados para un valor de la medida en un momento dado y mostrará como el valor instantáneo cambia como una función del tiempo . Los medidores de indicación pueden tener escalas análogas o lecturas digitales . Algunos medidores tienen incorporados relés de tiempo ; muchos son equipados para mostrar los promedios en un período de tiempo de 15 a 30 minutos.

Los medidores registradores son usados para acumular un valor medido en un período de tiempo. Estos medidores se utilizan en aplicaciones como los contactores, sobre un papel (o un tambor) en pulsos y luego se decodifican por medio de sistemas computarizados para grabar la tendencia de las lecturas entre intervalos de tiempo.

El factor de potencia y los medidores de secuencia negativa s encuentran disponibles para satisfacer necesidades específicas. Un medidor de factor de potencia indica un valor monofásico o trifásico en adelanto o atraso; requiere conexión de voltaje y corriente de la misma forma que un vatímetro. Además los medidores de factor de potencia son mecanismos monofásicos y no dan medida exacta en sistemas desbalanceados en voltaje o corriente o en un sistema trifásico.

Algunos de los medidores electrónicos nuevos responden al cruce por cero y en presencia de distorsiones no son muy exactos.



Los medidores de secuencia negativa indican la presencia y magnitud de voltajes o corrientes de secuencia negativa, usualmente asociados con sistemas desbalanceados o condiciones de falla a ambos.

Finalmente es importante hacer algunas anotaciones sobre la selección y los criterios de compra de equipos para auditorias.

1. Deben seleccionarse equipos para uso industrial.
2. Deben revisarse los rangos de medida de las distintas variables (corrientes máximas AC y DC, voltajes máximos, potencias trifásicas máximas) y de esa manera relacionar los equipos.
3. Deben verificarse los diámetros máximos de conductores o grupo de ellos para determinar el tamaño de las pinzas de corriente.
4. Debe tenerse un medidor de factor de potencia.
5. Debe comprarse un tacómetro teniendo en cuenta los tipos de motor y los rangos de velocidad encontradas : Existen básicamente tres tipos de contacto, de tipo óptico por marca y estroboscopio. Con la medida de las variables eléctricas (P, I, V, CosØ) y la velocidad se puede determinar la eficiencia de los motores de inducción.

Existen aparatos integrados que permiten leer las eficiencias directamente.

6. Los registradores electrónicos permiten llevar la señal hasta un microcomputador, así que en lo posible deben tener medida instantánea, de registro en papel y magnética así como una salida RS 232.

8.0 EJEMPLOS PRACTICOS

Los siguientes ejemplos sirven como guía típica solamente y no deben ser interpretadas como modelos exactos para la medida.

Ocasionalmente, el sistema de medición dará ahorros directos que pueden ser identificados de forma inmediata. Por ejemplo en la figura se ilustra un método de medida de flujo de aire desde un compresor centrífugo.

Bajo operación normal, la válvula de chequeo B está abierta y al válvula de control A está cerrada. Se mide la potencia del motor y el flujo de aire suministrado por el motor. Un valor normal en (kW/1000 ft³) / min. es de aproximadamente 200, lo cual significa que 200 kWh son requeridos por cada 60000 ft³ de aire comprimido producido a una rata de 1000 ft³/min.



Cuando la carga de la planta decrece, presión de escape del compresor aumenta, ocasionando que la válvula de control A se abra. El aire es ventilado a la atmósfera para evitar agitación. Una alarma luminosa notifica al operador de la empresa que el compresor está en descarga y necesita ser detenido hasta que la demanda de aire se incremente.

En un período de dos semanas, los valores diarios de (kW /1000 ft₃)/min. aumentaron. Cuando el problema fue investigado, la válvula de control A fue encontrada pegada en la posición abierto y la válvula de chequeo B fue por lo tanto cerrada. La luz de alarma se fundió y quedo fuera de servicio y el compresor estuvo descargando el aire a la atmósfera. Haber dejado sin corrección la situación podría haber tenido un costo alto por derroche de electricidad cada mes.

Otro ejemplo involucra el monitoreo de potencia a un enfriador de 1500 Ton manejado por un motor de 2300 b. Un contador de energía convencional fue utilizado para registrar la potencia de entrada y termómetros de cuadrantes para las entradas y salidas convencionales combinados con un mecanismo medidor e flujo usados para calcular la rata de toneladas de salida de agua enfriada. La potencia instantánea fue determinada por la medición del tiempo de rotación del disco del contador y empleando la siguiente fórmula:

$$Kw = 3.6 * PMC * (REV/s)$$

El cálculo inicial de kW/t, un indicador fundamental del funcionamiento del enfriador, resultó en un rango de valores desde 0.28 a 0.34 kW/Ton esos valores son solo la mitad de los valores 0.6 kW/Ton y 0.27 kW/Ton que son los asociados usualmente a enfriadores e ese tamaño.

Un chequeo del contador de Kwh. y los Cts y PTs respectivos revelaron valores inusuales. La atención fue dada entonces a los termómetros de cuadrante, los cuales fueron encontrados descalibrados y daban una temperatura diferencial falsa.

9.0 AHORRO DE ENERGÍA ELCTRICA POR CONTROL EN LA MEDIDA

En esta parte veremos que el consumo de la energía eléctrica está controlado por un equipo llamado contador de energía y que es éste quien determina cuanta energía se consumió en u periodo dado.

El punto es sencillo:

Si el contador no mide el valor correcto, puede estar pagando por más energía o por menos de la realmente consumida.

- ✓ Conoce en que estado de calibración se encuentra su contador?



- ✓ Esta bien conectado?
- ✓ Que parámetros afectan la medida?
- ✓ El reloj de control está con la hora real?

9.1 El conteo de kWh

En un contador conectado directamente en baja tensión, el valor de kWh consumidos en un período de tiempo será :

$(\text{lectura actual} - \text{lectura anterior}) = \text{Kwh. consumidos}$

Sin embargo, si el valor de la corriente es grande ($> 50 \text{ A}$) se suele medir a través de transformadores de corriente, entonces la lectura será:

$(\text{lectura actual} - \text{lectura anterior}) * \text{factor} = \text{Kwh. consumidos}$

Por ejemplo, una relación de transformación (CT) de 50 : 5 disminuirá el consumo real en 10 veces, por lo tanto:

KWh consumidos 0 (lectura actual – lectura anterior) * 10

Ahora bien, si el voltaje es superior a 220 V (o 110 V), en general se utilizan transformadores de potencial (PT) para reducir el voltaje que “ve” el medidor y, por lo tanto el factor se afectara también.

KWh consumidos 0 (lectura actual – lectura anterior) * factor¹

El factor¹ será entonces función de la relación de transformación de los CT y PT.

De otro lado, es normal que a través del tiempo y por diferentes circunstancias, se puede ir cambiando los CT o los PT o el contador mismo y no se tenga la previsión de revisar si el factor varió con los cambios ejecutados.

RECOMENDACIÓN

Verifique que su contador esté midiendo los consumos reales que se factura.

Revisar:

- ✓ Relación de transformación de los CT
- ✓ Relación de transformación de los PT
- ✓ Factor de facturación.



No se debe olvidar que la mala o errónea conexión de los distintos tipos de contadores (monofásicos, bifásicos, de 2 hilos o 3 hilos, trifásicos, de 3 o 4 hilos, etc.) dan lugar a mediciones erradas.

RECOMENDACIÓN

Verifique su contador se encuentre bien conectado.

La tarifa que se le aplique depende del nivel de tensión que se conecten los equipos de medida y no del nivel de tensión que llegue al usuario.

RECOMENDACIÓN

Verifique que su tarifa y el nivel de tensión son coincidentes.

Las variables: tensión, frecuencia, factor de potencia y temperatura afectan la calibración del equipo .

RECOMENDACIÓN

Verifique que el nivel de voltaje real coincide con el del contador. La salida de los PT pueden ser 110, 120, o 120/1.72 y su contador estar calibrado para otro nivel.

Un bajo factor de potencia incrementa el error del contador en contra del usuario revise diariamente el consumo de energía reactiva, así se tenga corrección automática.

Una alta temperatura afecta la calibración en contra del usuario. Utilice lugares limpios y aireados para la instalación de sus contadores.

9.2 LA CLASE DE LOS EQUIPOS

Dependiendo del consumo (entre más alto) las empresas de energía reglamentan la precisión. Las clases utilizadas son clase 1, 0.5, 0.2 ó 0.1 para obtener una precisión total de estos valores, todos los equipos involucrados deberán poseer igual o menor clase, ya que el de menor precisión impondrá la precisión final.

Por ejemplo, u contador clase 0.2 y unos transformadores de corriente clase 1, seguramente darán una clase 1 en el error. No se justifica entonces la inversión alta en el equipo de medida clase 0.2.

En la medida que pasa el tiempo y por problemas de urgencia, es normal que se dañen los CT o PT o el equipo de medida, la urgencia, es normal que se dañen los CT o PT o el equipo de medida, la urgencia obliga a colocar “ lo primero que sirva”, es por esto que en



conjuntos de medida se encuentren, para un mismo sistema trifásico, hasta 3 o más marcas distintas y por supuesto hasta 3 o 4 precisiones distintas.

RECOMENDACIÓN

Verifique la clase de Iso PT CT y contador y determine la clase real de medida que posee.

RECOMENDACIÓN

Un buen conjunto de medida (PT, CT y contador) se justifican y se pagan rápidamente.

Equipos modernos de medida permiten además registrar muchas variables.

9.2 CONSIDERACIONES FINALES

Con la finalización de esta sección se ha verificado como obtener el mínimo del factor de energía activa en cuanto a tarifa y a mediada se refiere. Una vez revisada y corregida esta actividad, el mínimo del consumo de energía activa se encontrara donde las perdidas de energía sean mínimas.