



SEDE GUAYAQUIL

Facultad de Ingenierías

Carrera: Ingeniería Eléctrica

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del título de:

Ingeniero Eléctrico con Mención en Sistemas De Potencia Y Diseño De
Maquinarias

Propuesta:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE CONTRASTACIÓN
DE MEDIDORES MONOFÁSICOS.**

AUTORES:

Gabriel Paúl Cifuentes Casquete

Alejandro Alfredo García Torres.

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Orly Guzmán

2.010

Guayaquil – Ecuador

~ I ~

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD:

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, Septiembre 6 del 2010

(f) _____

Gabriel P. Cifuentes Casquete.

(f) _____

Alejandro A. García Torres.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis padres, que han sido mi mayor ejemplo de entereza y perseverancia, por su comprensión y ayuda en todos los momentos de mi vida. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por haberme dado vida, salud y constancia para llegar hasta donde el día de hoy
he llegado

A la Universidad Politécnica Salesiana:

Por haberme dado los conocimientos suficientes para desenvolverme en la vida
profesional.

Agradecimiento especial:

A todas aquellas personas que me apoyaron directa e indirectamente con este
trabajo.

INDICE GENERAL.

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DEL MEDIDOR.

	<u>PAG.</u>
1.1.- Circuitos Eléctricos -----	12
1.2.- Tipos de servicio-----	14
1.2.1.- Teorema de Blondel-----	18
1.3.- Elementos que generan un campo magnético-----	22
1.4.- Efectos de la presencia del campo magnético sobre conductores	
Energizados -----	24
1.5.- Elementos constitutivos del medidor-----	28
1.6.- Comportamiento de los elementos del medidor -----	31
1.6.1.- Freno magnético -----	34
1.6.2.- Elementos de calibración del medidor-----	35
1.6.2.1.- Tornillo de calibración en alta -----	35
1.6.2.2.- Tornillo de calibración en baja -----	36
1.6.3.- Forma de registro de energía activa por medio de un elemento	
Mecánico -----	37
1.6.4.- Tipos de medidores para los diferentes servicios Monofásicos----	38

CAPÍTULO 2

DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS A EMPLEARSE EN LA CONTRASTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEDIDOR.

2.1.- Condición y elementos para realizar pruebas de verificación -----	41
2.1.1.- Carga constante -----	41
2.1.2.- Voltaje regulado o estable -----	41
2.1.3.- Tipo de carga -----	42
2.1.4.- Instrumentos a emplearse -----	42
2.2.- Interpretación de las características propias de un medidor -----	42
2.2.1.- Velocidad del medidor -----	42
2.2.2.- Constante del disco (Kh) -----	43

2.2.3.- Multiplicador del registro (Kr) -----	43
2.2.4.- Relación del registro (Rr) -----	43
2.2.5.- Relación del eje (Rs) -----	43
2.3.- Determinación de la potencia censada por el medidor -----	46
2.3.1.- Mediante el registro de potencia aplicada-----	48
2.3.2.- Mediante la utilización de instrumentos de medida -----	48
2.3.2.1.- Reseña y cálculo del burden de prueba de los transformadores de corriente -----	51
2.4.- Determinación de errores -----	53
2.4.1.- Reseña de teoría de errores, precisión y exactitud -----	54
2.4.2.- Comparación de potencias -----	55

CAPÍTULO 3

IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE CONTRASTACIÓN.

3.1.- Consideración para el diseño del equipo de prueba -----	57
3.1.1.-Consideraciones de Funcionamiento -----	58
3.1.2.-Consideraciones Eléctricas -----	61
3.1.2.1.-Protecciones Eléctricas -----	63
3.1.3.-Consideraciones Físicas -----	64
3.1.3.1.-Protecciones Térmicas -----	66
3.2.- Diseño de la carga fantasma -----	67
3.2.1.- Descripción -----	67
3.2.2.- Cálculo -----	68
3.2.3.- Detalles Técnicos -----	69
3.2.4.- Módulo de registro y medición -----	71
3.2.5.- Hardware Scada-----	71
3.2.6.- Sistema integrador de energía y parámetros eléctricos -----	72
3.2.7.- Sistema contabilizador de la potencia del disco -----	73
3.2.8.- Comunicación y envío de datos -----	74
3.2.9.- Registro, comparación y visualización de datos -----	75
3.2.10.- Diseño del sistema de conexiones -----	77
3.2.10.1.- Planos -----	77

3.2.11.- Implementación -----	79
3.2.12.- Materiales empleados en el equipo de contrastación -----	79
3.2.13.- Fabricación de pupitre -----	80
3.2.14.- Instalación de equipos -----	82
3.2.15.- Pruebas y puesta en marcha -----	87

CAPITULO 4

MANUAL DE USUARIO Y MÓDULO DE CALIBRACIÓN DE MEDIDORES

4.1.- Elementos de las Pantallas -----	88
4.2.- Menú de Navegación -----	89
4.3.- Módulos del Sistema -----	90
4.4.- Puesta en servicio del módulo de calibración de medidores -----	90
4.4.1.- Selector con llave -----	90
4.4.2.- Selector Sistema 120V o 240V -----	91
4.4.3.- Selector Carga 120V 1,5 A o 15A -----	91
4.4.4.- Selector Carga 240V 3 A o 30A -----	91
4.4.5.- Luz Piloto Carga 120V 1,5 A -----	92
4.4.6.- Luz Piloto Carga 120V 15 A -----	92
4.4.7.- Luz Piloto Carga 240V 3 A -----	93
4.4.8.- Luz Piloto Carga 240V 30 A -----	93
4.4.9.- Censor de contraste -----	93
4.5.- Procedimiento de calibración del medidores -----	93
4.6.- Prueba de carga -----	97

CAPÍTULO 5

APLICACIÓN DEL EQUIPO DE CONTRASTACIÓN PORTÁTIL EN LOS SECTORES NORTE Y SUR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL-ECUADOR.

5.1.- Cultura de servicio al usuario -----	99
5.2.- Tabla de resultados de las pruebas a realizarse en los distintos tipos de Medidores. -----	102
5.3.- Costo final del Equipo -----	103

5.4.- Conclusiones -----	104
5.5.- Bibliografía -----	105

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1-----	12
Figura 2-----	13
Figura 3-----	13
Figura 4-----	14
Figura 5-----	15
Figura 6-----	16
Figura 7-----	17
Figura 8-----	18
Figura 9-----	19
Figura 10-----	19
Figura 11-----	21
Figura 12-----	22
Figura 13-----	23
Figura 14-----	23
Figura 15-----	24
Figura 16-----	25
Figura 17-----	25
Figura 18-----	26
Figura 19-----	28
Figura 20-----	28
Figura 21-----	29
Figura 22-----	29
Figura 23-----	30
Figura 24-----	31
Figura 25-----	31
Figura 26-----	32
Figura 27-----	33
Figura 28-----	33

Figura 29	35
Figura 30	36
Figura 31	36
Figura 32	37
Figura 33	38
Figura 34	38
Figura 35	38
Figura 36	38
Figura 37	39
Figura 38	39
Figura 39	39
Figura 40	39
Figura 41	41
Figura 42	43
Figura 43	44
Figura 44	47
Figura 45	50
Figura 46	52
Figura 47	54
Figura 48	55
Figura 49	56
Figura 50	56
Figura 51	57
Figura 52	57
Figura 53	58
Figura 54	58
Figura 55	59
Figura 56	59
Figura 57	59
Figura 58	60
Figura 59	61
Figura 60	61
Figura 61	63

Figura 62	64
Figura 63	64
Figura 64	66
Figura 65	67
Figura 66	68
Figura 67	68
Figura 68	69
Figura 69	70
Figura 70	71
Figura 71	71
Figura 72	74
Figura 73	72
Figura 74	75
Figura 75	73
Figura 76	74
Figura 77	75
Figura 78	77
Figura 79	77
Figura 80	78
Figura 81	78
Figura 82	79
Figura 83	79
Figura 84	80
Figura 85	80
Figura 86	81
Figura 87	81
Figura 88	82
Figura 89	82
Figura 90	83
Figura 91	83
Figura 92	84
Figura 93	85
Figura 94	86

Figura 95-----	87
Figura 96-----	88
Figura 97-----	88
Figura 98-----	89
Figura 99-----	89
Figura 100-----	89
Figura 101-----	90
Figura 102-----	90
Figura 103-----	92
Figura 104-----	93
Figura 105-----	93
Figura 106-----	94
Figura 107-----	97
Figura 108-----	98
Figura 109-----	98

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 -----	40
Tabla 2 -----	48
Tabla 3 -----	49
Tabla 4 -----	51
Tabla 5 -----	69
Tabla 6 -----	76
Tabla 7 -----	99
Tabla 8 -----	100

Nota: Anexos adjuntos en disco.

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DEL MEDIDOR.

1.1.- CIRCUITOS ELÉCTRICOS.

La función de un medidor de vatios-horas es medir la energía eléctrica que fluye en un circuito eléctrico y registrarlo en un contador en unidades de kw/hora. Esta energía eléctrica consumida por una carga que demanda una potencia determinada depende del voltaje de suministro para tomar la corriente que requiere de la fuente y que va a circular en el conductor que la alimenta.

Existen dos tipos de circuitos eléctricos; los de corriente continua (DC) y los de corriente alterna (CA). Los de corriente continua tienen un voltaje constante y fijo en el tiempo, mientras que los de corriente alterna tienen un voltaje que varía en función del tiempo como se muestra en la figura 1, donde una onda senoidal es igual a 1 ciclo (360° eléctricos) o un período ($1T = 1/60\text{hz}$).

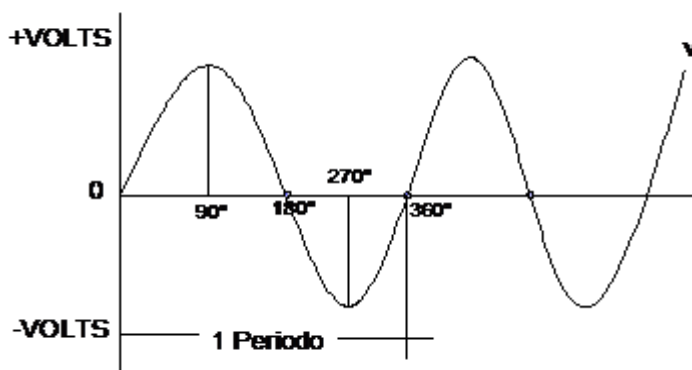


Figura 1. Onda Sinusoidal de corriente alterna.

Fuente: SCHLUMBERGER, Instruction Manual Alternating Current Watthour Meters 7ma. Edición,, Sangamo, Weston 1981.

Cuando un voltaje alterno se suministra a una carga resistiva, el voltaje y la corriente están en fase y su potencia es el producto del voltaje por la corriente.

Mediante la gráfica de las ondas senoidales del voltaje, corriente y potencia podemos darnos cuenta que la onda de la potencia es netamente positiva, porque ambas ondas están en fase.

Cuando decimos que una carga es inductiva o capacitiva, su corriente no está en fase con respecto al voltaje, por ejemplo si fuese el caso de una carga netamente inductiva donde la corriente atrasa al voltaje en 90° eléctricos como se muestra en la figura 2, observamos que su producto afectado por coseno del ángulo de desfasamiento $\cos \phi$ será cero, a continuación las relaciones trigonométricas y una representación vectorial, como se muestra en la figura 3; es decir esta potencia no generará un trabajo porque estará fluyendo permanentemente entre la fuente y la carga sin ser consumida.

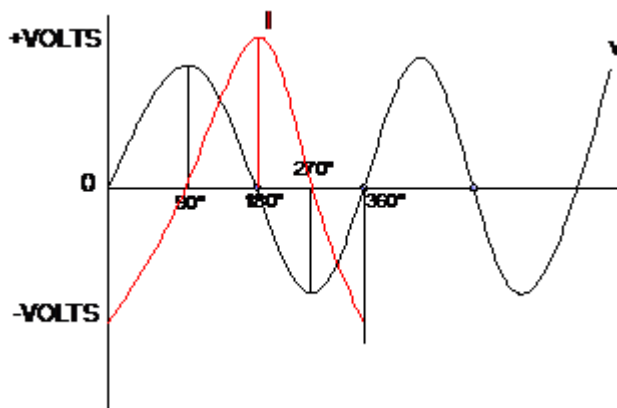


Figura 2 Onda sinusoidal de una Carga netamente Inductiva.

Fuente: ASTUDILLO Otto, Electricidad II, Edición de Prueba, Colegio Domingo Comín, Guayaquil-Ecuador 1996.

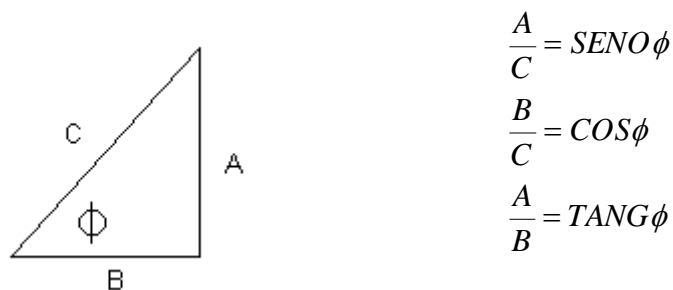


Figura 3. Relaciones Trigonómicas.

Fuente: ASTUDILLO Otto, Electricidad II, Edición de Prueba, Colegio Domingo Comín, Guayaquil-Ecuador 1996.

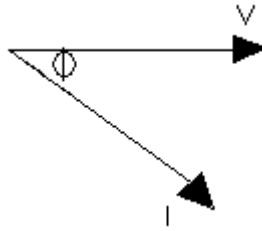


Figura 3. Representación Vectorial

Fuente: ASTUDILLO Otto, Electricidad II, Edición de Prueba, Colegio Domingo Comín, Guayaquil-Ecuador 1996.

La potencia es el producto escalar entre el voltaje, la corriente y su ángulo de desfasamiento; el cual viene dado mediante la siguiente fórmula:

$$P = V * I * \cos\phi$$

1.2.- TIPOS DE SERVICIO.

Entre los tipos de circuitos que usan dos o más conductores podemos mencionar el circuito monofásico y el circuito bifásico.

Existen servicio monofásicos de dos y tres hilos mostrado en la figura 4a, la primera gráfica muestra un voltaje de suministro de línea a neutro es 120v y en la segunda gráfica figura 4b muestra un voltaje de suministro entre ambas líneas vivas es de 240v.

MONOFÁSICO DE 2 HILOS.

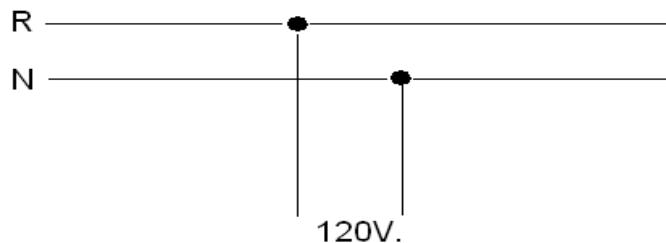


Figura 4 a. Sistema monofásico de 2 hilos.

Fuente: ASTUDILLO Otto, Electricidad II, Edición de Prueba, Colegio Domingo Comín, Guayaquil-Ecuador 1996.

MONOFÁSICO DE 2 HILOS.

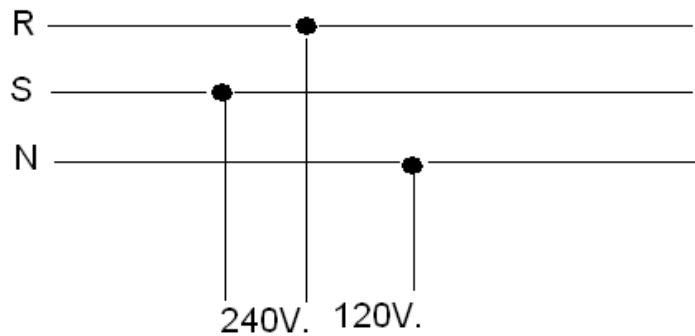


Figura 4 b. Sistema monofásico de 3 hilos.

Fuente: ASTUDILLO Otto, Electricidad II, Edición de Prueba, Colegio Domingo Comín, Guayaquil-Ecuador 1996.

En los sistemas trifásicos en conexión estrella se generan tres voltajes iguales en magnitud pero desfasados 120° en función del tiempo, en la siguiente figura 5 se muestra un diagrama fasorial donde los tres voltajes que están desfasados 120° y al tomar una referencia en sentido de movimiento de los fasores contrario a las manecillas del reloj indicamos una secuencia referencial, para este caso positiva (RST).

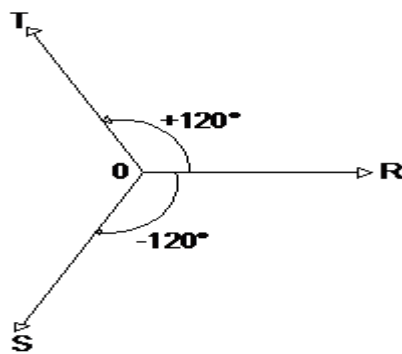


Figura 5 Diagrama Fasorial.

Fuente: ASTUDILLO Otto, Electricidad II, Edición de Prueba, Colegio Domingo Comín, Guayaquil-Ecuador 1996.

Si de un servicio trifásico en estrella existente utilizamos solamente dos fases y un neutro para servir una determinada carga; se lo identifica como servicio monofásico Network bajo denominación de Normas Norteamericanas o se lo reconoce en nuestro medio como servicio Bifásico.

Cabe mencionar que para los servicios monofásicos de 2 hilos como se muestra en la figura 6 sólo se requiere de un sensor de corriente y un sensor de voltaje y a este conjunto se lo denomina estator o elemento de un medidor, en un circuito de tres hilos proveniente de una red trifásica en conexión estrella se requiere de dos estatores en el medidor para registrar correctamente; en un circuito de cuatro hilos se requiere tres estatores en el medidor para un registro correcto.

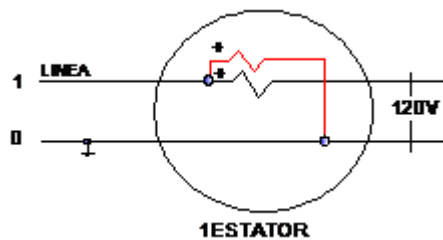


Figura 6. Sistema Monofásico de dos hilos.

Fuente: SCHLUMBERGER, Instruction Manual Alternating Current Watthour Meters 7ma. Edición., Sangamo, Weston 1981.

Para el caso muy particular de un servicio monofásico proveniente de un transformador monofásico con derivación central aterrizada; para que el medidor registre correctamente se requiere de dos sensores de corriente y un sensor de potencial.

Esto se debe a las condiciones siguientes: El voltaje entre cada una de las dos líneas vivas y la derivación central aterrizada es igual en magnitud:

$$\text{Es decir} \quad V_{rs} = V_{rn} + V_{sn}$$

o también se puede decir que

$$V_{rn} = V_{sn} = V_{rs}/2.$$

La potencia total que demanda la carga será:

$$P = (V_{rn} \times I_r) + (V_{sn} \times I_s)$$

O también es:

$$P = (V_{rs}/2 \times I_r) + (V_{rs}/2 \times I_s)$$

$$P = V_{rs}/2 \times (I_r + I_s)$$

Esto nos confirma que para medir correctamente en este tipo de servicio sólo se requiere que el medidor contenga un elemento y medio que debe estar conformado por un sensor que perciba voltaje completo V_{rs} (bobina de potencial) y dos sensores de corriente que perciba las corrientes de cada línea viva y las sume ($I_r + I_s$).

Este tipo de servicio monofásico de tres hilos principalmente se lo utiliza en suministros a clientes residenciales y comerciales que particularmente su carga es más resistiva que inductiva.

Cuando de un sistema Trifásico de cuatro hilos en estrella, se provee servicio a cargas comerciales y residenciales utilizando solamente dos fases y el neutro; este suministro es similar al monofásico de tres hilos, pero con la diferencia de que sus voltajes de línea a neutro es 120 voltios desfasados 120° y el voltaje de línea a línea es 208 voltios en lugar de 240 voltios, como se muestra en la figura 7.

Este tipo de servicio se denomina monofásico tres hilos network o en nuestro medio se lo identifica como bifásico.

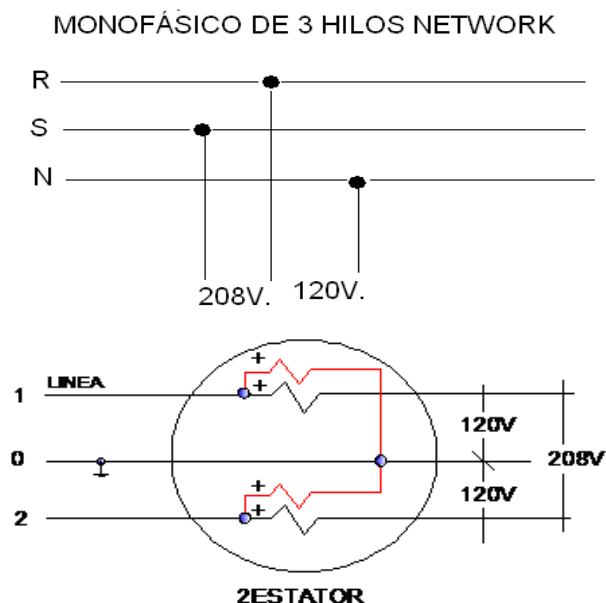


Figura 7. Circuito monofásico de tres hilos Network.

Fuente: SCHLUMBERGER, Instruction Manual Alternating Current Watthour Meters 7ma. Edición,, Sangamo, Weston 1981.

1.2.1.- TEOREMA DE BLONDEL.

Antes de entrar el tema de lo que es el teorema de Blondel se debe recordar, lo que son conexiones trifásicas tanto en estrella como en delta en circuitos balanceados por lo que este teorema es utilizado para medir factor de potencia (FP), potencia reactiva (VAR), potencia aparente (VA), potencia activa (W).

CONEXIÓN TRIFÁSICA EN ESTRELLA.

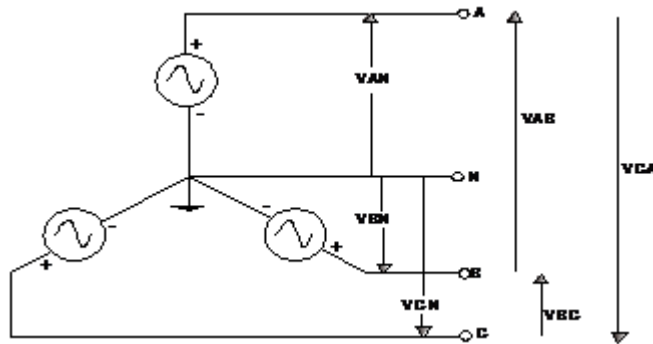


Figura 8. Conexión Trifásica en Estrella.

Fuente: ASTUDILLO Otto, Electricidad II, Edición de Prueba, Colegio Domingo Comín, Guayaquil-Ecuador 1996.

En este tipo de circuitos sus corrientes en la línea son las mismas que las de cada fase; si las tensiones entre línea y neutro están equilibradas, el valor eficaz de las tensiones entre líneas es igual al producto de $\sqrt{3}$ por el valor eficaz de las tensiones entre línea y neutro con un desfase de 30° entre las tensiones de línea a línea y las de línea a neutro más próxima. Ver figura 8. Conexión trifásica en estrella.

FÓRMULAS A SEGUIR:

$$V_{\text{línea}} = \sqrt{3} * V_{\text{fase}}$$

$$I_{\text{línea}} = I_{\text{fase}}$$

Si tomamos como punto de referencia el $V_{BC} \angle 0^\circ$ tendremos:

$$\begin{aligned}
 V_{AB} &= |V_{AB}| \angle 120^\circ & V_{AN} &= |V_{AN}| \angle 90^\circ \\
 V_{BC} &= |V_{BC}| \angle 0^\circ & V_{BN} &= |V_{BN}| \angle -30^\circ \\
 V_{CA} &= |V_{CA}| \angle -120^\circ & V_{CN} &= |V_{CN}| \angle -150^\circ
 \end{aligned}$$

- Los voltajes de línea están desfasados 120° cada uno, ver figura 9.
- Los voltajes de fase están atrasados 30° a los respectivos voltajes de línea.
- La corriente de línea están en fase con los voltajes de fase o lo que es lo mismo decir, están atrasados 30° a los voltajes de línea en condiciones de carga resistiva pura; es decir Factor de potencia 1.

DIAGRAMA FASORIAL:

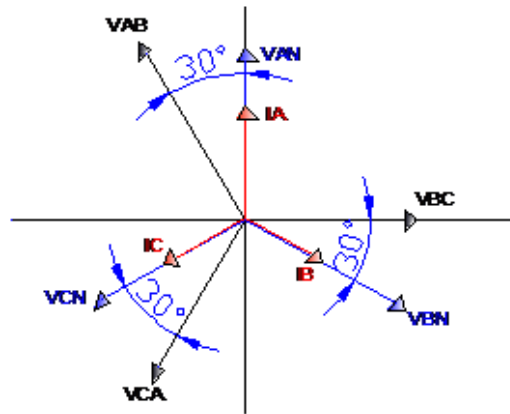


Figura 9. Diagrama Fasorial

Fuente: ASTUDILLO Otto, Electricidad II, Edición de Prueba, Colegio Domingo Comín, Guayaquil-Ecuador 1996.

CONEXIÓN TRIFÁSICA EN DELTA.

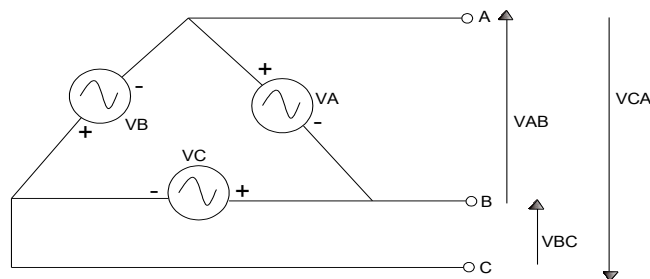


Figura 10. Conexión Trifásica en Estrella.

Fuente: ASTUDILLO Otto, Electricidad II, Edición de Prueba, Colegio Domingo Comín, Guayaquil-Ecuador 1996.

En este tipo de circuitos sus voltajes de línea son los mismos que los de cada fase; se utiliza esta conexión cuando se desean sistemas aislados de tierra para mantenerlos libres de interferencias en el sistema. La conexión delta-delta de transformadores monofásicos se usa generalmente en sistemas tanto para elevar la tensión como para reducirla. Ver figura 10.

En caso de falla o reparación de la conexión delta-delta se puede convertir en una conexión delta abierta-delta abierta.

Si en este tipo de conexión uno de sus transformadores posee derivación central y esta derivación se la aterriza; esta Conexión se la conoce como delta aterrizada donde sus voltajes de línea siguen siendo iguales a sus voltajes de fase.

Los voltajes de cada fase del transformador con derivación central aterrizada con respecto a tierra son idénticos en magnitud y desfasados 180 grados entre sí. El voltaje entre el enyugue de los otros dos transformadores que conforma la tercera fase con respecto a la derivación central es $\sqrt{3}$ veces el valor del voltaje de cualquiera de las otras fases con respecto a la derivación central.

FÓRMULAS A SEGUIR:

$$V_{\text{linea}} = V_{\text{fase}}$$

$$I_{\text{linea}} = \sqrt{3} * I_{\text{fase}}$$

Si tomamos como punto de referencia el $V_{BC} \angle 0^\circ$ tendremos:

$$V_{AB} = |V_{AB}| \angle 120^\circ$$

$$V_{BC} = |V_{BC}| \angle 0^\circ$$

$$V_{CA} = |V_{CA}| \angle -120^\circ$$

- Los voltajes de línea están desfasados 120° cada uno. Ver figura 11.
- Las corrientes de línea están atrasados 30° respecto a las corrientes de fase, o lo que es lo mismo decir, están atrasados 30° respecto al voltaje de línea en condiciones de carga resistiva pura.

DIAGRAMA FASORIAL:

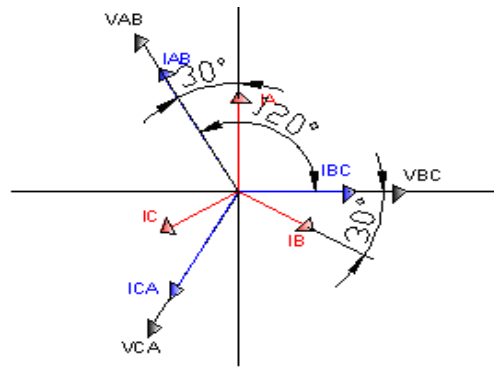


Figura 11. Diagrama Fasorial

Fuente: ASTUDILLO Otto, Electricidad II, Edición de Prueba, Colegio Domingo Comín, Guayaquil-Ecuador 1996.

Una vez recordado lo que son las conexiones trifásicas en estrella y en delta se puede empezar a estudiar lo que es el teorema de Blondel.

El teorema de blondel expresa que en un sistema con N HILOS puede ser medido por N-1 elementos de medición conectados en cada fase a cualquier punto común.

Si el punto común es una de las fases, la energía puede ser medida por N-1 elementos.

Donde se deriva la siguiente fórmula:

$$P = e1 * I1 + e2 * I2 + e3 * I3 \quad \text{Ecuación 1}$$

Sabiendo que en cualquier sistema las corrientes sumadas vectorialmente son iguales a cero.

$$I1 + I2 + I3 = 0$$

Donde:

$$I2 = (-I1 - I3) \quad \text{Ecuación 2}$$

Si unimos Ecuación 2 en Ecuación 1 tenemos:

$$P = I1(e1 - e2) + I3(e3 - e2)$$

Entonces si el punto común de tensión se hace en la fase dos, y utilizamos las tensiones con respecto a esta fase y las corrientes de dos o tres fases, se puede concluir que un medidor con dos elementos mide correctamente un circuito trifásico de tres hilos.

Esto se lo conoce también como el método de los dos watímetros o conexión Aron. Ver figura 12.

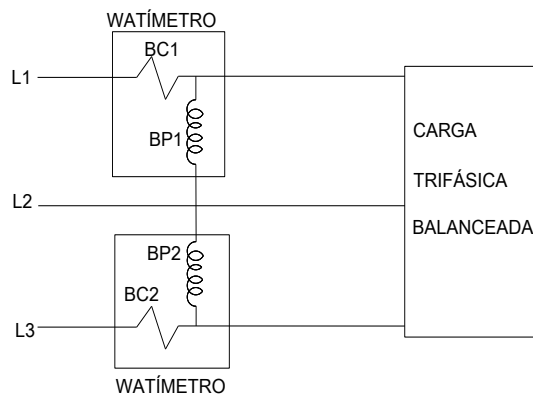


Figura 12. Métodos de los dos Watímetros.

Fuente. EDISON ELECTRIC INSTITUTE, Handbook for electricity metering, Tenth edition, Edison Electric Institute, Washington DC 2002.

1.3.- ELEMENTOS QUE GENERAN UN CAMPO MAGNÉTICO.

Para una mejor comprensión de lo que es un campo magnético conviene realizar un análisis acerca del comportamiento de los materiales ferro magnético.

Los materiales ferro magnéticos compuestos de hierro y sus aleaciones con cobalto, tungsteno, níquel, aluminio y otros metales, son los materiales magnéticos más comunes y se utilizan para el diseño y constitución de núcleos de los transformadores y máquinas eléctricas.

Propiedades de los materiales ferro magnéticos:

- Aparece una gran inducción magnética al aplicarle un campo magnético.
- Permiten concentrar con facilidad líneas de campo magnético, acumulando densidad de flujo magnético elevado.
- Se utilizan estos materiales para delimitar y dirigir a los campos magnéticos en trayectorias bien definidas.
- Permiten que las máquinas eléctricas tengan volúmenes razonables y costos menos excesivos.

Algunos de estos materiales tienen características tales, que es posible convertirlos en imanes permanentes. Ver figura 13.



Figura 13. Imanes Permanentes.

Fuente. SERWAY-BEICHNER, Física Para Ciencias e Ingenierías- 5ta. Edición, Mac Graw-Hill, México 2001.

Una vez recordado un concepto básico de lo que es materiales ferro magnético, podemos tener una idea clara de lo que es el campo magnético.

El espacio en que actúan fuerzas magnéticas se denomina **campo magnético**, el cual está formado por líneas de fuerza. Estas líneas tienen directa incidencia sobre sus propios polos o sobre cualquier elemento ubicado dentro de dicho campo, de la siguiente manera: Ver figura 14.

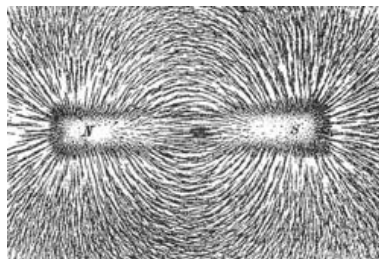
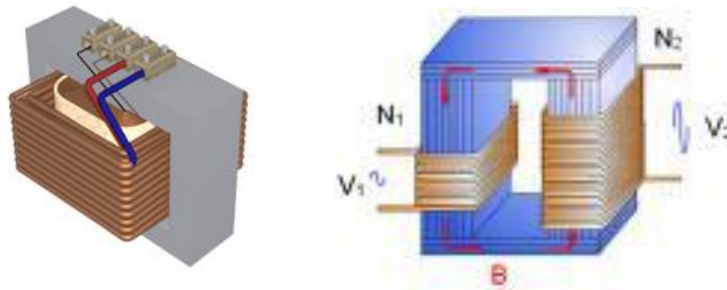


Figura. 14 Líneas mostrando el campo magnético de un imán de barra, producidas por limaduras de hierro sobre papel.

Fuente. SERWAY-BEICHNER, Física Para Ciencias e Ingenierías- 5ta. Edición, Mac Graw-Hill, México 2001.

Algunos elementos en los cuales se generan un campo magnético son por ejemplo los transformadores, los motores, los generadores, etc. que se los puede observar en la figura 15.

TRANSFORMADORES



MOTORES

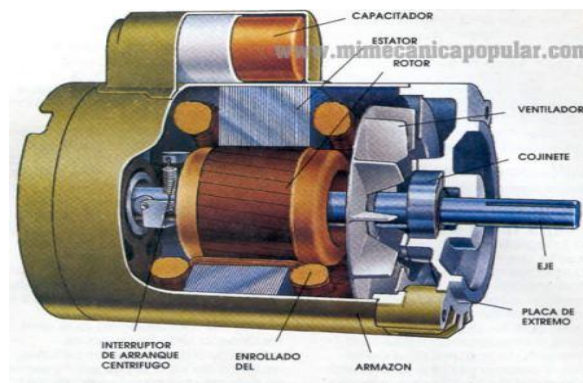


Figura 15. Elementos donde se concentra campo magnético.

Fuente. SERWAY-BEICHNER, Física Para Ciencias e Ingenierías- 5ta. Edición, Mac Graw-Hill, México 2001.

1.4.- EFECTOS DE LA PRESENCIA DEL CAMPO MAGNETICO SOBRE CONDUCTORES ENERGIZADOS.

Una de las características de las líneas de fuerza de un campo magnético es que:

- Nunca se cortan ni se cruzan.
- Emergen e inciden perpendiculares a su superficie.
- Son cerradas en sí mismas.
- Van de sur a norte por el interior del material ferro magnético.
- Van de norte a sur por el interior del material ferro magnético.

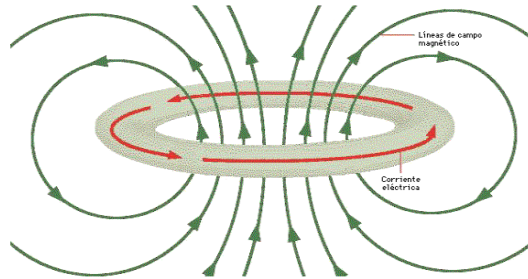


Figura 16. Líneas de campo magnético.

Fuente. SERWAY-BEICHNER, *Física Para Ciencias e Ingenierías*- 5ta. Edición, Mac Graw-Hill, México 2001.

El sentido de las líneas de fuerza se lo puede expresar mediante la ley de la mano derecha, el cual permite comprender de manera simple los principales efectos asociados al campo magnético.

El pulgar se coloca en la dirección de la corriente y los dedos restantes indican la dirección de las líneas de fuerza. Ver figura 17

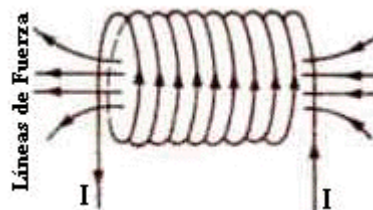


Figura 17. Campo magnético según la ley de la mano derecha.

Fuente. SERWAY-BEICHNER, *Física Para Ciencias e Ingenierías*- 5ta. Edición, Mac Graw-Hill, México 2001.

LEY DE BIOT SAVART.

La ley de Biot-Savart calcula el campo producido por un elemento de longitud dl de la corriente de intensidad I en un punto P distante r de dicho elemento. Ver figura 18.

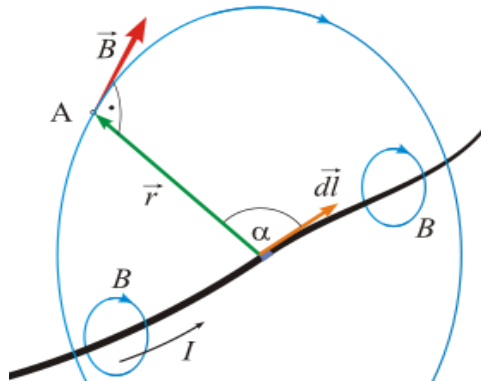


Figura 18. Ley de Biot Savart producido en un conductor L.

Fuente. SERWAY-BEICHNER, Física Para Ciencias e Ingenierías- 5ta. Edición, Mac Graw-Hill, México 2001.

El campo producido por el elemento tiene la dirección perpendicular al plano determinado por los vectores unitarios u_t y u_r , donde u_t es un vector unitario que señala la dirección de la corriente, mientras que u_r señala la posición del punto P desde el elemento de corriente dl . Salvo en el caso de espira circular o de una corriente rectilínea, la aplicación de la ley de Biot-Savart es muy complicada.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{U}_r}{R^2}$$

Donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío, y \vec{U}_r es un vector unitario.

Para determinar el campo producido por un solenoide sumando los campos producidos por cada una de las espiras que lo forman, existen dos aproximaciones: Mediante la ley de Biot-Savart se calcula el campo producido por una espira circular en un punto de su eje. Se supone que el solenoide de longitud L tiene N espiras muy apretadas, y luego, se calcula la contribución de todas las espiras al campo en un punto del eje del solenoide.

CORRIENTES DE EDDY.

Está basada en los principios de la inducción electromagnética y es utilizada para identificar o diferenciar entre una amplia variedad de condiciones físicas, estructurales y metalúrgicas en partes metálicas ferro magnéticas y no ferro magnéticas, y en partes no metálicas que sean eléctricamente conductoras.

Las corrientes de Eddy son creadas usando la inducción electromagnética, este método no requiere contacto eléctrico directo con la parte que está siendo inspeccionada.

Aplicaciones de las corrientes Eddy.

- Medir o identificar condiciones o propiedades tales como: conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, tamaño de grano, condición de tratamiento térmico, dureza y dimensiones físicas de los materiales.
- Detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales, como costuras, traslapes, grietas, porosidades e inclusiones.
- Detectar irregularidades en la estructura del material.
- Medir el espesor de un recubrimiento no conductor sobre un metal conductor, o el espesor de un recubrimiento metálico no magnético sobre un metal magnético.

Ventajas:

- Se aplica a todos los metales, electro conductores y aleaciones.
- Alta velocidad de prueba.
- Medición exacta de la conductividad.

Limitaciones:

- La capacidad de penetración está restringida a menos de 6 mm.
- En algunos casos es difícil verificar los metales ferro magnéticos.
- Se aplica a todas las superficies formas uniformes y regulares.
- Los procedimientos son aplicables únicamente a materiales conductores.

1.5.- ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL MEDIDOR.



Figura 19 .Medidor tipo socket.

Fuente. EDISON ELECTRIC INSTITUTE, Handbook for electricity metering, Tenth edition, Edison Electric Institute, Washington DC 2002.

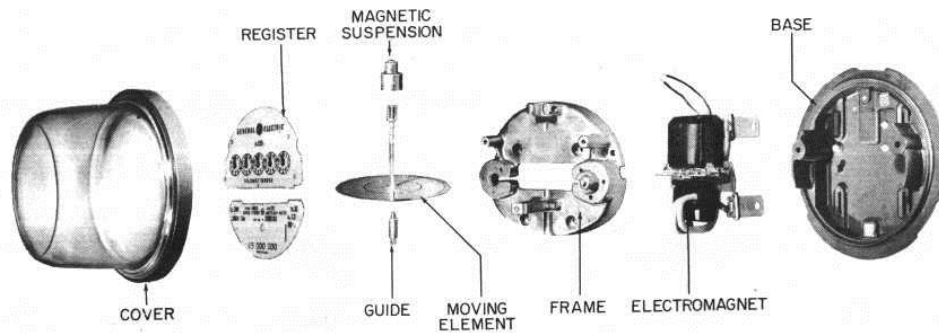


Figura 20 Partes del medidor.

Fuente. EDISON ELECTRIC INSTITUTE, Handbook for electricity metering, Tenth edition, Edison Electric Institute, Washington DC 2002.

En este ítem podemos estudiar lo que es el medidor, de watio horas, ver figura 19, el cual se divide en lo siguientes elementos: Ver figura 20.

➤ El estator o bobina de potencial, es un elemento electromecánico, que se conecta en paralelo a las líneas de la fuente, ver figura 21 donde a su vez puede ser medido el voltaje aplicado, está bobina de potencial es enrollada en un núcleo de hierro laminado por n vueltas de un calibre de alambre muy fino, de forma adecuada para suministrar la distribución requerida del flujo magnético.

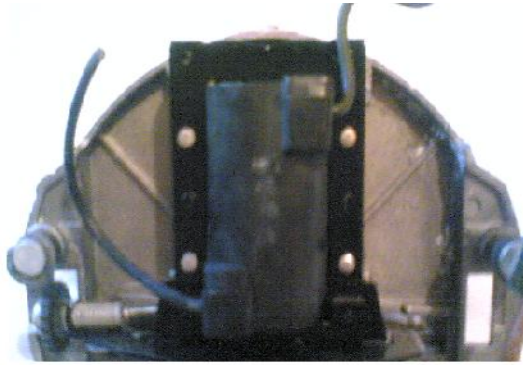


Figura 21. El estator.

Fuente: Autores.

- El rotor o disco, constituye la parte rotatoria del motor que opera el tren de engranajes, ver figura 22. Está hecha de una pieza delgada de aluminio, cuando el electroimán actúa sobre el disco para hacerlo dar vueltas el tornillo sin fin se pone en movimiento con la primera rueda dentada del juegos de engranajes de la esfera y así se registra el número de revoluciones del disco.



Figura 22. El rotor o disco.

Fuente: Autores.

- El imán permanente tiene la función de regular la velocidad del disco, lo que es necesario para impedir que gire muy rápidamente. Ver figura 23. En los medidores antiguos de marcas Sangamo, Westinghouse etc. los imanes permanentes son ajustables para calibrar su acción reguladora, es decir la velocidad del disco.



Figura 23. El imán permanente.

Fuente: Autores.

- El registro ciclo métrico de lectura o esfera, consta de una serie de engranajes que contabilizan el número de revoluciones del disco para registrarlo en KWH de acuerdo a la relación entre el primer y último engranaje guardando estrecha relación con la constante de disco. Ver figura 24. En el registro ciclo métrico es fácil la toma de lectura por que consta de tambores con números que avanzan de acuerdo a la relación de vueltas del registro; existen registros que poseen manecillas de reloj que para tomar la lectura se debe considerar una técnica de lectura respecto a la posición de sus manecillas; además que las manecillas de las unidades, decenas, centenas, etc giran en direcciones opuestas.



Figura 24 El registró o esfera ciclo métrica.

Fuente: Autores.

- La base o armazón que es donde se asienta las partes del medidor. Ver figura 25.



Figura 25. La base o armazón.

Fuente: Autores.

- La tapa es la que permite el cierre y ajuste con la base del medidor, para protegerlo de las condiciones del ambiente y proporcionar seguridad ante cualquier manipulación de sus componentes. Ver figura 26.



Figura 26. Tapa del medidor.

Fuente: Autores.

1.6.- COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL MEDIDOR.

Para entender por qué se produce la torsión o movimiento del disco, recordaremos ciertos fenómenos físicos naturales que siempre ocurren:

- Alrededor de todo conductor que transporta corriente eléctrica se forma un campo magnético.
- Polos magnéticos iguales se rechazan; los polos diferentes se atraen.
- Una fuerza electromotriz (FEM) es inducido en un conductor ante la acción y presencia de campo magnético. Esta FEM es proporcional a la proporción a que el conductor corta las líneas de fuerza magnéticas. La FEM inducida se retrasa 90° detrás del flujo que lo produce.

➤ Cuando una corriente fluye a través de un conductor en presencia de un campo magnético, se produce fuerza mecánica fija que tiende a mover al conductor fuera el campo magnético.

El medidor es un motor cuyo rotor está conformado por un disco que se ubica entre los polos del estator indicado en Figura 22. Los flujos magnéticos que son producidos en la bobina de potencial y en la bobina de corriente, ver figura 27 pasan a través del estator y a través del disco; el campo producido por la bobina de potencial es un campo constante aplicado al disco que interactúa con el flujo el flujo magnético producido por la bobina de corriente; el cual es proporcional a la corriente que circula por su bobina; la presencia de este flujo permite generar una fuerza proporcional a su magnitud sobre las corrientes parásitas inducidas en el disco que provocan un torque que genera el movimiento del disco.

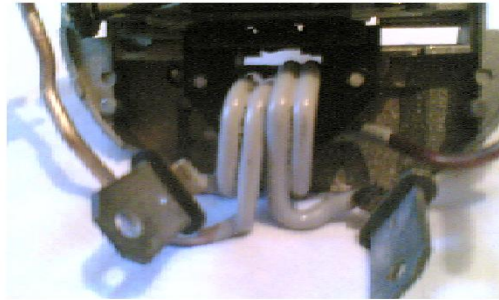


Figura 27 Bobina de corriente.

Fuente: Autores.

La figura 28 muestra las relaciones de flujo y corrientes de Eddy del disco en un medidor, en cuatro tiempos distintos durante un ciclo de voltaje del suministro.

Las cuatro condiciones de la figura 28 los relacionan con los puntos de tiempo similarmente marcados en el voltaje y formas de onda tanto para la bobina de corriente como para la bobina de voltaje la cual están desfasadas 90° una de la otra para cuestión de análisis, ver la figura 28.

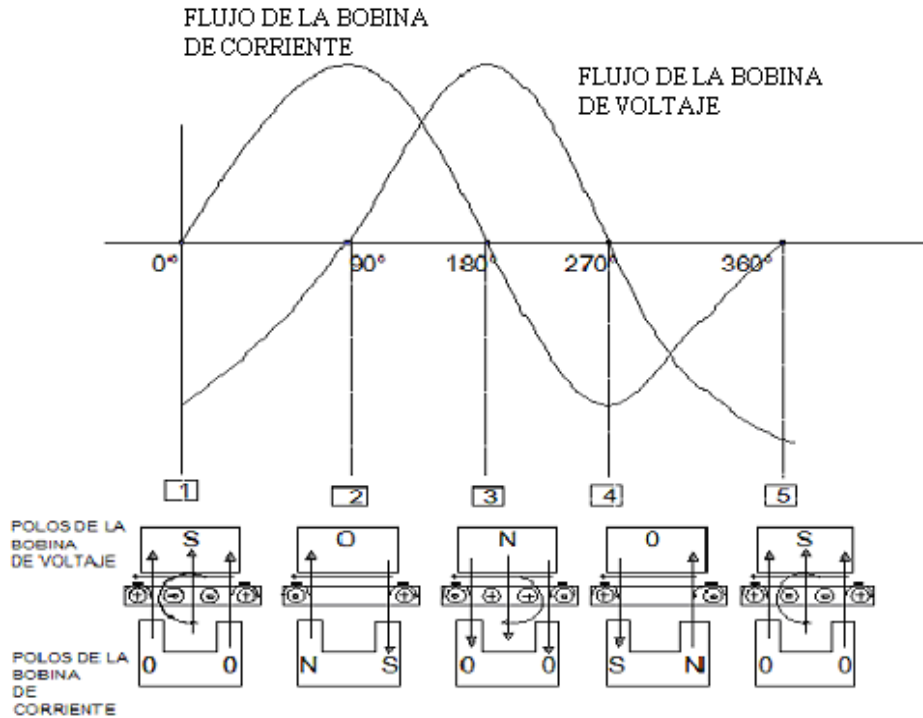


Figura 28. Forma de onda de la bobina de voltaje y corriente.

Fuente. EDISON ELECTRIC INSTITUTE, Handbook for electricity metering, Tenth edition, Edison Electric Institute, Washington DC 2002.

En el análisis del tiempo uno de la figura 28, se muestra las líneas de flujos en la bobina de voltaje y en la bobina de corriente, que son las que se generan en todo el estator, cabe recalcar que habiendo líneas de flujo en la bobina de corriente existen corrientes de Eddy, que son las que van a generar la torsión para el movimiento del disco.

Sabiendo esto, para cuestión de análisis del comportamiento de la forma de onda tanto de la bobina de corriente como la bobina de voltaje en el **tiempo uno** decimos que, la forma de onda de la bobina de corriente esta en cero mientras que la de voltaje está desfasada 90° y en la cual se genera un polo magnético sur, y en la parte central del disco se generan las corrientes de Eddy que hacen que este desarrolle una fuerza hacia la izquierda.

En el **tiempo dos**, 90° más tarde, la bobina de voltaje esta en cero y la bobina de corriente alcanza su máximo valor en el lado positivo, en la que se genera un polo

norte y un polo sur y las corrientes de Eddy hacen que se desarrolle una fuerza en el disco hacia la izquierda.

En el **tiempo tres**, 180° más tarde del tiempo uno, cuando la bobina de corriente esta en cero pero para el lado negativo pasa que las corrientes de Eddy que están en la parte central del disco se invierten, haciendo que este gire hacia la derecha, y la bobina de potencial alcanza su máximo valor para el lado positivo haciendo que se produzca un polo norte.

En el **tiempo cuatro** 270° más tarde del tiempo 1 pasa que, es parecido al del tiempo dos pero con la diferencia que es en el lado negativo donde la bobina de corriente se le invierten los polos por lo cual las corrientes de Eddy realizan una torsión del disco hacia la derecha.

En el **tiempo cinco** 360° más tarde pasa que, es similar al del tiempo uno porque tanto la onda de la bobina de corriente como la de voltaje vuelven a su estado inicial.

1.6.1.- FRENO MAGNÉTICO.

En esta parte del capítulo se va explicar la importancia del freno magnético en el medidor.

El disco de un medidor tendría a correr si es que este operara sin carga, así un freno magnético se proporciona como la carga para el medidor para hacer que reduzca la velocidad a un valor utilizable.

Este sistema de frenado consiste en dos imanes permanentes montados para que el disco este entre sus polos, cuando el disco gira lo que hace es cortar las líneas de campo que se forman en el momento que hay presencia de corriente, y por eso causa voltajes para ser inducidos en el disco.

Estos voltajes producen las corrientes de Eddy que son proporcional a la velocidad del disco, el reacciona con el flujo del imán permanente para producir

una torsión opuesta al torque del medidor y así conseguir el movimiento del disco.
Ver figura 29.

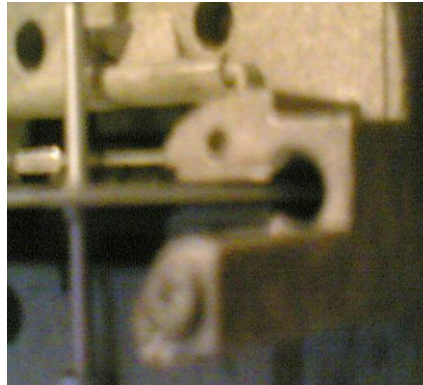


Figura 29. Freno magnético.

Fuente: Autores.

1.6.2.- ELEMENTOS DE CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR.

En todos los medidores electromecánicos clase 100 y clase 200 residenciales existen dos elementos de calibración que son: tornillo de calibración en alta y tornillo de calibración en baja.

A continuación vamos a estudiar un poco más acerca de estos elementos.

1.6.2.1.- TORNILLO DE CALIBRACION EN ALTA.

El tornillo de calibración en alta es la que mantiene correctamente la acción de frenado magnético, para dar la velocidad apropiada cuando el medidor opera con su voltaje y corriente correspondiente y el factor de potencia igual a la unidad.

Existen dos métodos para proporcionar un ajuste en alta y son los siguientes:

- Variando la posición del imán permanente con respecto al disco.
- Mediante un tornillo férreo movable se puede variar la cantidad de flujo del imán permanente. Ver figura 30



Figura 30. Tornillo de calibración de alta.

Fuente: Autores.

1.6.2.2.-TORNILLO DE CALIBRACION EN BAJA.

El propósito del tornillo de calibración de baja es de compensar factores que tienen el efecto despreciable cuando se está a full carga.

Estos incluyen la fricción y la existencia de torsiones debido al flujo potencial exclusivamente y la falta de simetría del electroimán con respecto al disco.

El ajuste en baja generalmente se obtiene agregando una torsión controlada, debido al flujo de la bobina de potencial exclusivamente, bastante grande para cancelar el efecto de la falta de simetría y proporcionando la torsión suficiente para superar la carga de la fricción. Ver figura 31.

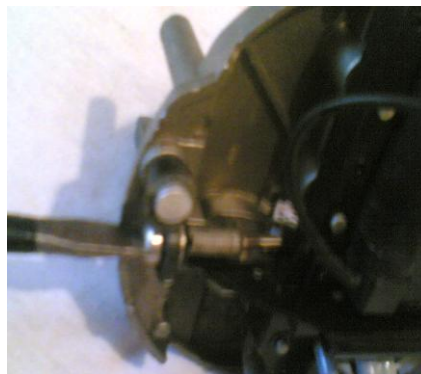


Figura 31. Tornillo de calibración de baja.

Fuente: Autores.

1.6.3.- FORMAS DE REGISTRO DE ENERGÍA ACTIVA POR MEDIO DE UN ELEMENTO MECÁNICO.

La forma de registrar energía activa en el medidor es por medio de un elemento llamado registro o esfera ciclo métrica. Ver figura 32

La cual es un sistema de engranajes diales e indicadores, que registran el número de revoluciones del disco, el cual lo muestran por medio de unos tambores o por medio de manecillas de reloj. Ver figura 33.

El registro empieza su funcionamiento una vez que la rueda helicoidal o primer engranaje entra en el tornillo sin fin del disco, así cuando a dado el número de revoluciones según sea la relación del registro dará el primer kilovatio hora. Ver figura 34.

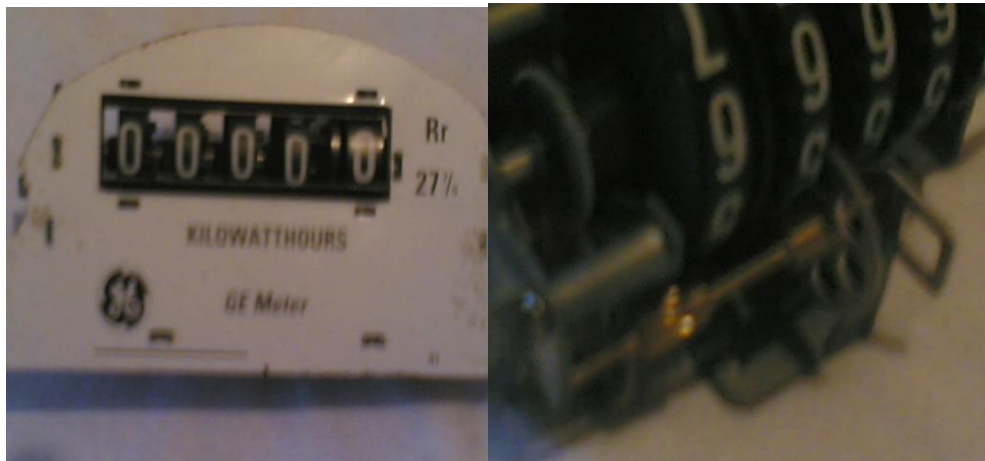


Figura 32. Esfera o Registro ciclo métrico

Fuente: Autores.

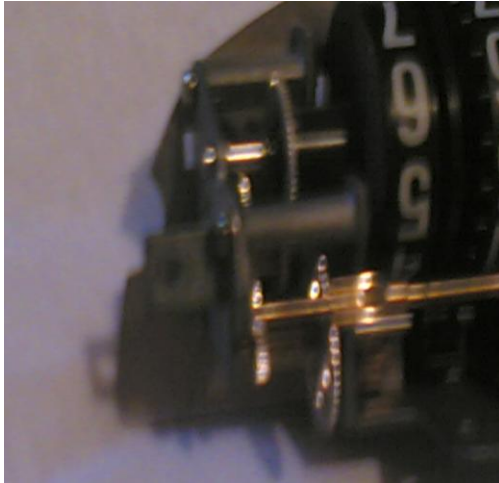


Figura 33. Sistema de engranajes.

Fuente: Autores.



Figura 34. Tornillo sin fin del disco.

Fuente: Autores.

1.6.4.- TIPOS DE MEDIDORES PARA LOS DIFERENTES SERVICIOS MONOFÁSICOS.

En nuestro medio dependiendo de la necesidad o servicio que se requiera se adquiere un medidor que puede ser monofásico clase 100 de 15 A. ó clase 200 de 30 A. si hablamos de la parte industrial pueden ser los trifásicos clase 20 o los trifásicos con demanda clase 200 etc.

Dada la siguiente premisa se muestra a continuación las diferentes formas de los medidores con su esquema y conexión interna: Ver figura 35-36-37-38-39-40.

CONEXIÓN INTERNA.

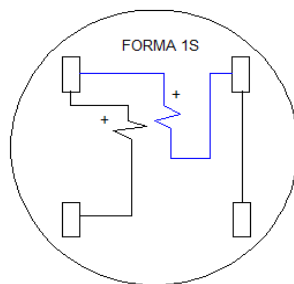


Figura 35. Medidor clase 100 (120v).

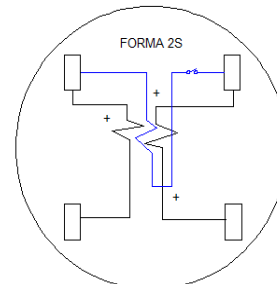


Figura 36. Medidor clase 200 (220v.)

Fuente: SCHLUMBERGER, Instruction Manual Alternating Current Watthour Meters 7ma. Edición,, Sangamo, Weston 1981.

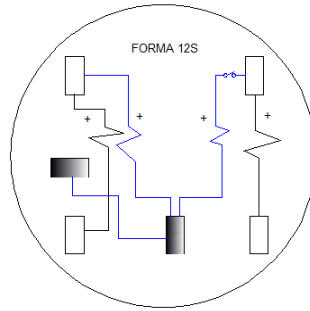


Figura 37. Medidor clase 200 (208v.)

Fuente: SCHLUMBERGER, Instruction Manual Alternating Current Watthour Meters 7ma. Edición,, Sangamo, Weston 1981.

ESQUEMAS.

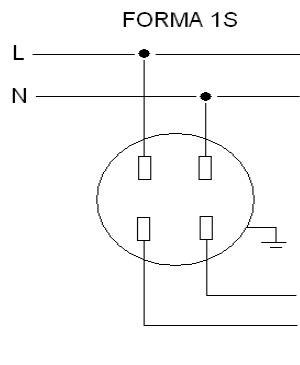


Figura 38. Medidor clase 100 (120v.)

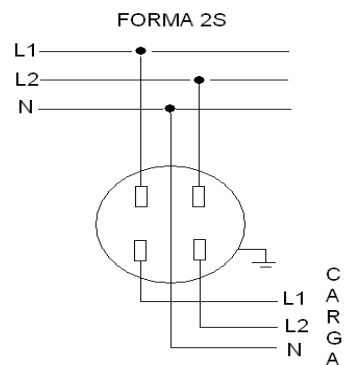


Figura 39. Medidor clase 200 (220v.)

Fuente: SCHLUMBERGER, Instruction Manual Alternating Current Watthour Meters 7ma. Edición,, Sangamo, Weston 1981.

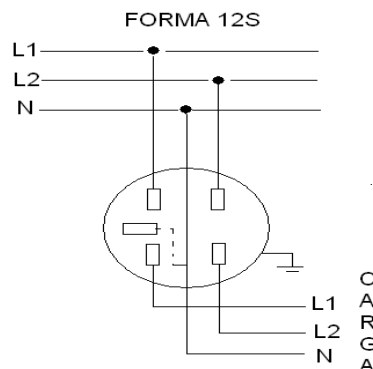


Figura 40. Medidor clase 200 (208v.)

Fuente: SCHLUMBERGER, Instruction Manual Alternating Current Watthour Meters 7ma. Edición,, Sangamo, Weston 1981.

CAPÍTULO 2
DETERMINACIÓN DE LOS PARAMETROS A EMPLEARSE EN LA
CONTRASTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEDIDOR.

2.1.-CONDICIÓN Y ELEMENTOS PARA REALIZAR PRUEBAS DE VERIFICACIÓN.

2.1.1.- Carga constante.

Cuando se tiene una carga constante en el medidor la velocidad del disco es constante y adecuada para realizar cualquier tipo de prueba, asegurando con esta condición un mejor seguimiento de los resultados que se obtengan; es decir que el aumento o disminución repentino de la corriente de carga provoca piques o desaceleraciones en el movimiento del disco que incrementan los errores de prueba por la inercia propia del disco.

2.1.2.- Voltaje regulado o estable.

En lo que respecta al voltaje de operación del medidor, es necesario que sea estable, porque al tener un voltaje muy variable estas condiciones también influirán en su freno o desaceleración por la variación de potencia que está observando alterando la confiabilidad prueba, Ver tabla #1

V (voltios)	R (Ohm)	I (Amp.)
100	10	10
105	10	10,5
108	10	10,8
110	10	11
115	10	11,5
120	10	12
122	10	12,2
125	10	12,5
130	10	13
135	10	13,5

Tabla #1. Voltaje regulado

Fuente: SCHLUMBERGER, Instruction Manual Alternating Current Watthour Meters 7ma. Edición,, Sangamo, Weston 1981.

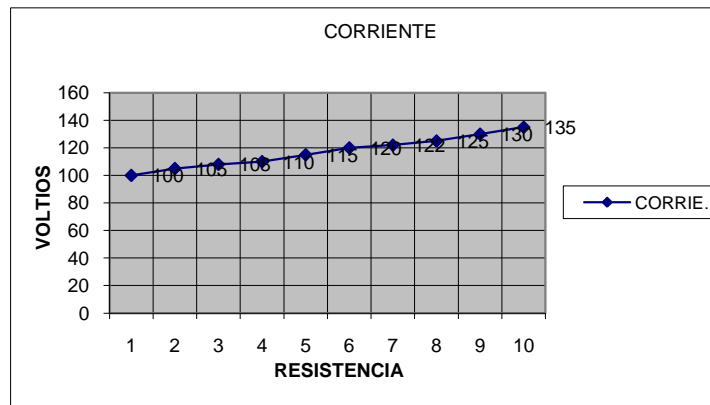


Figura 41. Gráfica del voltaje regulado.

Fuente: Autores.

2.1.3.- Tipo de carga.

El tipo de carga a emplearse en una prueba preferentemente debe ser resistiva pura para evitar errores por la influencia de las corrientes compuestas sean estas inductivas o capacitivas.

2.1.4.- Instrumentos a emplearse.

- PM 800.
- Sensor óptico.
- Transformadores de corriente (clase 0.5)
- Resistencias.
- Medidores clase 100 y 200. etc.

2.2.- Interpretación de las características propias de un medidor.

2.2.1.- Velocidad del medidor.

La velocidad del disco de un medidor aumenta o disminuye dependiendo de la cantidad de carga que tenga conectada; es decir a mayor carga mayor corriente y mayor velocidad del giro del disco; el comportamiento del disco del medidor es idénticamente proporcional al descrito para el caso que se disminuya la carga.

2.2.2.- Constante del disco. (KH)

Es un valor propio de cada modelo de medidor que expresa la cantidad de energía que se requiere para provocar una revolución o giro del disco (360°); se lo expresa en watios hora por revolución y su valor depende exclusivamente del diseño y estructura del medidor.

Para obtener el valor del KH se presenta la siguiente fórmula:

$$KH = \frac{Kr * 10000}{Rr * Rs}$$

Donde:

Kr= Constante del registro o esfera (por lo general es 1).

Rr= Relación del registro.

Rs= Relación del eje del disco.

2.2.3.- Multiplicador del registro. (Kr)

Es el factor por el cual debe multiplicarse la lectura de registro del medidor, para obtener el registro de las unidades de energía reales de consumo, este factor generalmente es la unidad.

2.2.4.- Relación del registro. (Rr)

Es el número de vueltas que debe dar el primer engranaje o rueda dentada (Rs primer engranaje que engrapa con el tornillo sin fin del eje del disco) para obtener una vuelta completa de la primera esfera, manecilla o tambor ciclo métrico; es decir que al dar una vuelta completa ese primer engranaje se debe registrar un lectura de 10 KWH.

2.2.5.- Relación del eje. (Rs)

Es la cantidad de dientes del primer piñón que engrana en el tornillo sin fin del eje del disco.

Para tener una idea más clara de cómo se pueden obtener estos valores, desde la fórmula del Kh. podemos citar algunos ejemplos:

Ejemplo #1.

Calcular el KH para un medidor monofásico de clase 100, con marca GE, con datos de placa de 120 voltios, 15 amperios. Tomando en cuenta los siguientes datos adicionales, ver figura 42.

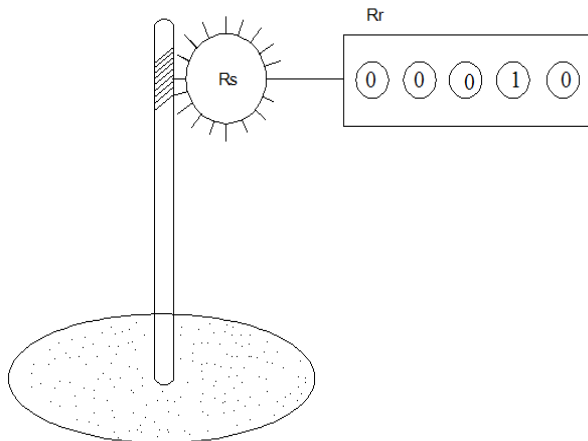


Figura 42. Constantes del medidor.

Fuente: Autores.

Datos:

$$Rr = 55 \frac{5}{9}$$

$$Rs = 100$$

$$Kr = 1$$

Donde:

$$KH = \frac{Kr * 10000}{Rr * Rs}$$

$$KH = \frac{1 * 10000}{55 \frac{5}{9} * 100} = \frac{9}{5} = 1.8 \frac{wh}{rev.}$$

Trabajando con los mismos datos del medidor anterior, donde ahora se quisiera encontrar el multiplicador de registro (Kr), se procedería de la siguiente manera:

$$KH = \frac{Kr * 10000}{Rr * Rs}$$

$$Kr = \frac{Rr * Rs * Kh}{10000} = \frac{55\frac{5}{9} * 100 * 1.8}{10000} = 1$$

Ejemplo #2.

Calcular la relación del eje (Rs) de un medidor monofásico de clase 100, con marca GE, con datos de placa de 240 voltios, 30 amperios. Tomando en cuenta los siguientes datos adicionales, ver figura 43

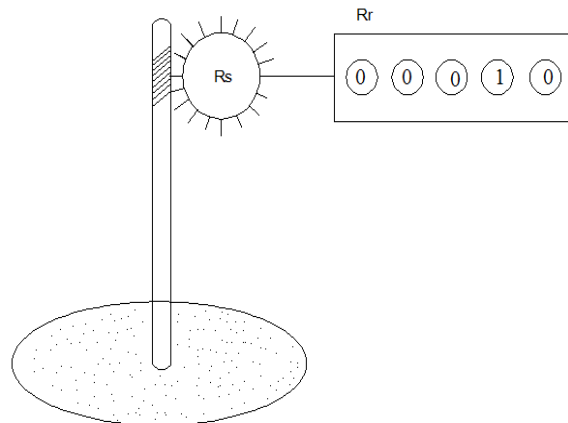


Figura 43. Constantes del medidor.

Fuente: Autores.

Datos:

$Kh = 7.2 \text{ wh/rev}$

$Rr = 13 \frac{8}{9}$

$Rs = ?$

$Kr = 1$

Donde:

$$KH = \frac{Kr * 10000}{Rr * Rs}$$

$$Rs = \frac{Kr * 10000}{Rr * Kh} = \frac{1 * 10000}{13\frac{8}{9} * 7.2} = 100$$

Trabajando con los mismos datos del medidor anterior, donde ahora se quisiera encontrar la relación de registro (Rr), se procedería de la siguiente manera:

$$KH = \frac{Kr * 10000}{Rr * Rs}$$
$$Rr = \frac{Kr * 10000}{Kh * Rs} = \frac{1 * 10000}{7.2 * 100} = 13 \frac{8}{9} \text{ vueltas}$$

2.3.- Determinación de la potencia censada por el medidor.

2.3.1.- Mediante el registro de potencia aplicada.

La potencia de un medidor con carga constante la podemos hallar en base al KH característico propio del medidor, el número de vueltas que se haya predeterminado para la prueba y el tiempo que le toma al disco en girar este número de vueltas.

La fórmula para hallar la potencia censada por el medidor es la siguiente:

$$P = \frac{3600 * KH * N}{t(seg)}$$

También se puede expresar el porcentaje de registro que viene dada por la siguiente fórmula:

$$\%R = \frac{3600 * KH * N * 100}{KW * t(seg)}$$

NOTA: Los 3600 de la fórmula de potencia viene de que 1 hora tiene 3600 seg. , los 100 es para convertir en términos del registro porcentual, los Kw es la potencia generada por la carga según el medidor a probar, por ejemplo si es un medidor a 120v con una corriente de 15 A. , la potencia es de 1800w o 1.8 kw.

A continuación podemos citar algunos ejemplos:

Ejemplo #1.

Calcular el factor de potencia, de un medidor clase 100; 120/240 voltios; Kh = 3.6; considerando los siguientes resultados de prueba: I1 = 2 A I2 = 2.5 A; el disco del medidor tardó un tiempo de 51.84 segundos en dar 2 vueltas, el voltaje medidor es de 120voltios entre fase y neutro.

$$\begin{aligned} KVA &= VLN * (I1 + I2) / 1000w \\ KVA &= 120 * (2 + 2.5) / 1000 \\ KVA &= 0.54 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} W &= \frac{3600 * KH * N}{t(seg)} \\ W &= \frac{3600 * 3.6 * 2}{51.84} \\ W &= 500w \end{aligned}$$
$$FP = \frac{KW}{KVA} = \frac{0.5}{0.54}$$
$$FP = 0.93$$

Ejemplo #2.

Calcular la potencia, de un medidor clase 200; 120/240 voltios; Kh = 7.2; considerando los siguientes resultados de prueba: el disco del medidor tardó un tiempo de 21 segundos en dar 1 vueltas, el voltaje medidor es de 240voltios entre fase y fase.

DATOS:

V = 240v.

KH = 7.2

T = 21 seg.

P=?

N = 1

Donde:Ejemplo #3.

$$W = \frac{3600 * KH * N}{t(seg)}$$
$$W = \frac{3600 * 7.2 * 1}{21seg}$$
$$W = 1234.28w$$

Calcular el porcentaje de registro de un medidor monofásico, clase 200, 120/240 voltios; Kh = 7.2; al que le ha aplicado una carga de prueba de 1.2kw, dando 3 revoluciones (vueltas) en un tiempo de 66 segundos.

DATOS:

%R = ?

P = 1.2kw (1200watt).

KH = 7.2 watt hora

N = 3

T = 66 seg.

Donde:

$$\%R = \frac{3.6watt / seg * KH * N * 100}{KW * t(seg)}$$

$$\%R = \frac{3.6watt / seg * 7.2watt / hora * 3 * 100}{1200w * 66seg}$$

$$\%R = \frac{7776}{79200}$$

$$\%R = 98.2$$

2.3.2.- Mediante la utilización de instrumentos de medida.

2.3.2.1.- Reseña y cálculo del burden de prueba de los transformadores de corriente. Ver figura 44

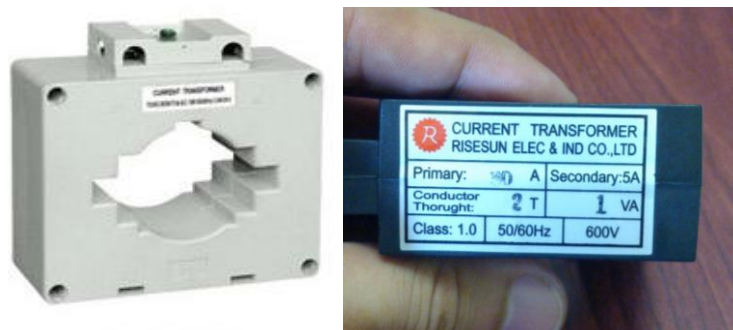


Figura 44. Transformadores de corriente.

Fuente: Autores.

La carga o burden.

Se conoce como burden a la carga que posee un transformador de instrumentos conectada a su circuito secundario; esta carga está compuesta por las impedancias de los instrumentos conectados y las impedancias de los conductores que los conectan.

El burden se puede expresar en forma de la impedancia total de la carga expresada en ohmios, con la resistencia efectiva y las componentes reactivas, o bien, como los voltios- amperios (VA) y factor de potencia a un valor de corriente especificado o de voltaje y una frecuencia dada.

El burden sobre el circuito secundario de un transformador de instrumento afecta la precisión del dispositivo. De acuerdo con esto, se deben conocer las cargas o burdens de los conductores (cables de control) de los instrumentos de medición y de los instrumentos en el secundario. Por lo general estos datos se obtienen del fabricante de los instrumentos.

Clases de Precisión.- Las clases de precisión normales para los transformadores de corriente son: 0.10, 0.2, 0.50 y 1.0 para equipos fabricados bajo normas IEC o sus respectivos equivalentes de 0.30, 0.60 y 1.20 para equipos fabricados bajo normas ANSI. En la tabla # 2 se tienen las diferentes clases de precisión de los instrumentos normalmente conectados y las potencias comunes de sus bobinados.

CLASE	UTILIZACIÓN
0.1	Calibración.
0.20-0.30	Mediciones en laboratorios, Alimentación de integradores para sistemas de potencia.
0.50-0.60	Instrumentos de medición e integradores, watímetros para facturación.
1.20-3.00	Amperímetros de tableros, watímetros de tableros, Frecuencímetro de tableros, Relevadores de distancia.
5	Relevadores de protección en general.

Tabla #2. Clase de precisión

Fuente: Autores.

Uno de los datos importantes para poder encontrar el burden del transformador de corriente es saber la resistividad del conductor que se conecta directamente al PM800, que en nuestro caso es conductor # 16.

A continuación se presenta una tabla de cada uno de los conductores con su respectiva resistividad, ver tabla # 3

PARAMETROS ELÉCTRICOS Y DIMENSIONES CABLES DE SNUDO DE COBRE (AWG)			
CALIBRE (AWG)	DIAM. (mm)	AREA (mm²)	RESISTENCIA 20°C (ohm/km)
18	1,02	0,823	21,8
16	1,29	1,31	13,7
14	1,63	2,08	8,6
12	2,05	3,31	5,4
10	2,59	5,26	3,4
8	4,775	8,403	2,2
6	5,334	13,575	1,5
4	6,257	21,587	0,8
2	8,331	34,327	0,5
1	9,271	43,282	0,4
1/0	11,786	54,581	0,31
2/0	12,7	68,858	0,25
3/0	12,928	84,286	0,20
4/0	15,392	106,289	0,16

Tabla #3. Conductores Eléctricos

Fuente: SCHLUMBERGER, Instruction Manual Alternating Current Watthour Meters 7ma. Edición,, Sangamo, Weston 1981.

CÁLCULO DEL BURDEN.

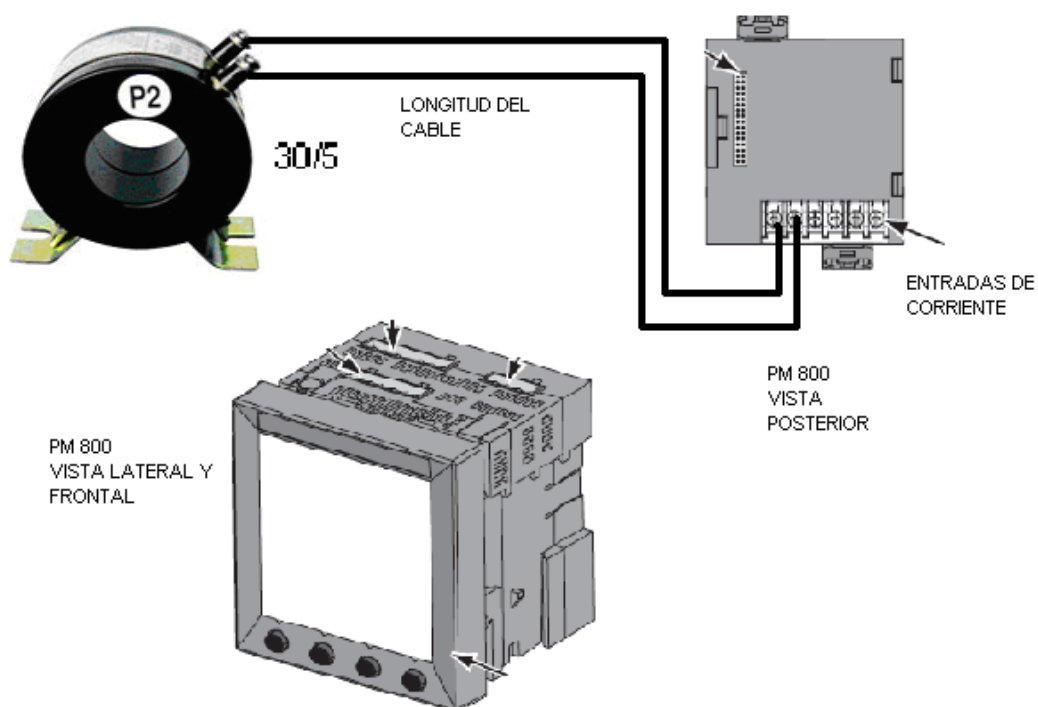


Figura 45 Cálculo del burden.

Fuente: Autores.

DATOS:

PM800 = 0.15va.

Resist. Cond. #16 = 0.01926 (40°C).

I ct. = 30/5 A.

$$P = I^2 * R$$

$$0.15va = (5)^2 * R$$

$$R = \frac{0.15va}{25A} = 0.006\Omega$$

$$P_{cable} = R_{cable} * I^2$$

$$R_{cable} = \frac{Resist.\Omega / m * long.cable}{A(mm^2)}$$

$$R_{cable} = \frac{0.01926\Omega / m * 1.5m}{1.3082mm^2}$$

$$R_{cable} = 0.0220837\Omega$$

$$P_{cable} = R_{cable} * I^2$$

$$P_{cable} = 0.0220837\Omega * (5A)^2$$

$$P_{cable} = 0.5520944w$$

$$BURDEN = PM800 + P_{cable}$$

$$BURDEN = 0.15va + 0.5520944w$$

$$BURDEN = 0.7020944va.$$

I ct. = 15/2.5 A.

Rcable = 0.0220837 ohm.

$P_{cable} = R_{cable} * I^2$

$P_{cable} = 0.0220837\Omega * (2.5A)^2$

$P_{cable} = 0.138023125w$

$BURDEN = PM 800 + P_{cable}$

$BURDEN = 0.15va + 0.138023125w$

$BURDEN = 0.288023125va.$

I ct. = 3/0.5 A.

Rcable = 0.0220837 ohm.

$P_{cable} = R_{cable} * I^2$

$P_{cable} = 0.0220837\Omega * (0.5A)^2$

$P_{cable} = 0.005520925w$

$BURDEN = PM 800 + P_{cable}$

$BURDEN = 0.15va + 0.005520925w$

$BURDEN = 0.155520925va.$

I ct. = 1.5/0.25 A.

Rcable = 0.0220837 ohm.

$P_{cable} = R_{cable} * I^2$

$P_{cable} = 0.0220837\Omega * (0.25A)^2$

$P_{cable} = 0.00138023125w$

$BURDEN = PM 800 + P_{cable}$

$BURDEN = 0.15va + 0.00138023125w$

$BURDEN = 0.151380231va.$

A continuación se presenta en la tabla # 4 los consumos en vatios del conductor de cobre #16 con respecto a la longitud del cable y su amperaje en el secundario del transformador de corriente y en la figura 46 la gráfica de potencia vs longitud.

RESISTIVIDAD DEL CONDUCTOR # 16				
0,0137 ohm/m.				
CONSUMO EN VATIOS DEL CONDUCTOR A CORRIENTE SECUNDARIA DEL CT (AMP.)				
AMP.	0,25	0,5	2,5	5
LONG.	0,25	0,5	2,5	5
0,5m	0,00042813	0,0017125	0,042812	0,17125
1m	0,00085625	0,003425	0,085625	0,3425
1,5m	0,00128437	0,005137	0,128437	0,51375
2m	0,0017125	0,00685	0,17125	0,685
2,5m	0,0021406	0,008562	0,214062	0,85625
3m	0,0025687	0,010275	0,25687	1,0275

Tabla # 4. Consumo en vatios de los conductores.

Fuente. Autores.

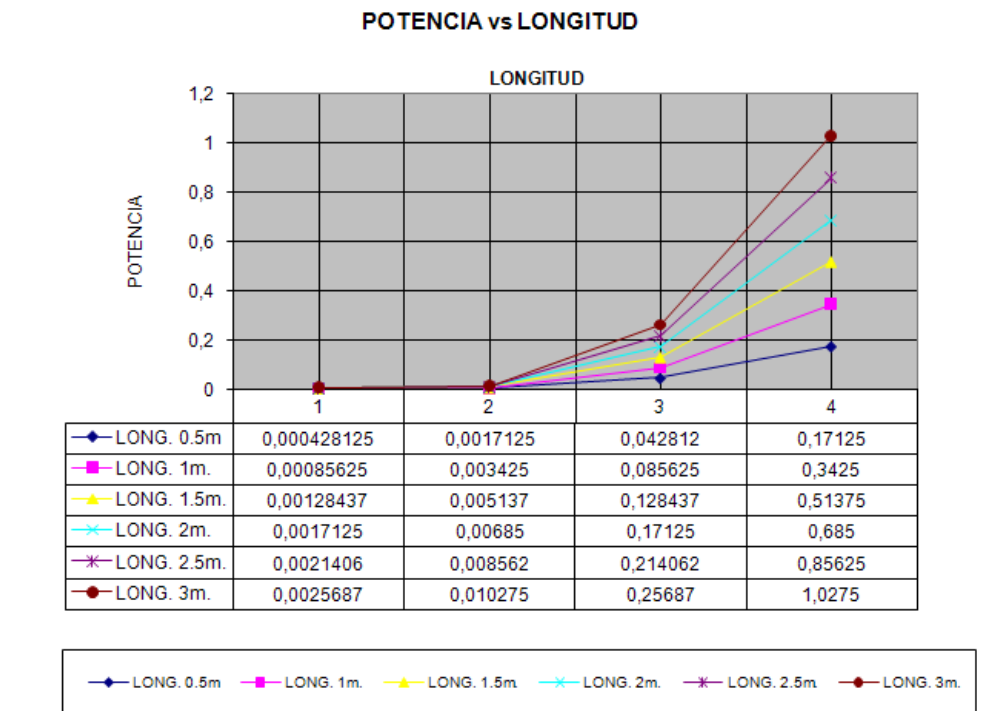


Figura 46. Gráfica de potencia vs longitud.

Fuente: Autores.

2.4.- Determinación de errores.

2.4.1.- Reseña de: teoría de errores, precisión y exactitud.

TEORÍA DE ERRORES.

El resultado de toda medición siempre tiene cierto grado de incertidumbre. Esto se debe a las limitaciones de los instrumentos de medida, a las condiciones en que se realiza la medición, así como también, a las capacidades del experimentador. Es por ello que para tener una idea correcta de la magnitud con la que se está trabajando, es indispensable establecer los límites entre los cuales se encuentra el valor real de dicha magnitud. La teoría de errores establece estos límites.

TIPOS DE ERRORES.

Error de escala:

Todo instrumento de medida tiene un límite de sensibilidad. El error de escala corresponde al mínimo valor que puede discriminar el instrumento de medida.

Error sistemático:

Se caracteriza por su reproducibilidad cuando la medición se realiza bajo condiciones iguales, es decir siempre actúa en el mismo sentido y tiene el mismo valor. El error sistemático se puede eliminar si se conoce su causa.

Error accidental o aleatorio:

Se caracteriza por ser de carácter variable, es decir que al repetir un experimento en condiciones idénticas, los resultados obtenidos no son iguales en todos los casos. Las diferencias en los resultados de las mediciones no siguen ningún patrón definido y son producto de la acción conjunta de una serie de factores que no siempre están identificados. Este tipo de error se trabaja estadísticamente. El error accidental se puede minimizar aumentando el número de mediciones.

El **error total** es igual a la suma de estos tres tipos de errores. Aún cuando el error total se pueda minimizar, es imposible eliminarlo del todo debido a que el error de escala siempre está presente. Por lo tanto, el error total no tiende a cero sino a cierto valor constante.

PRECISIÓN.

Se denomina precisión a la capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones.

EXACTITUD.

La exactitud es lo cerca que el resultado de una medición está del **valor verdadero**.

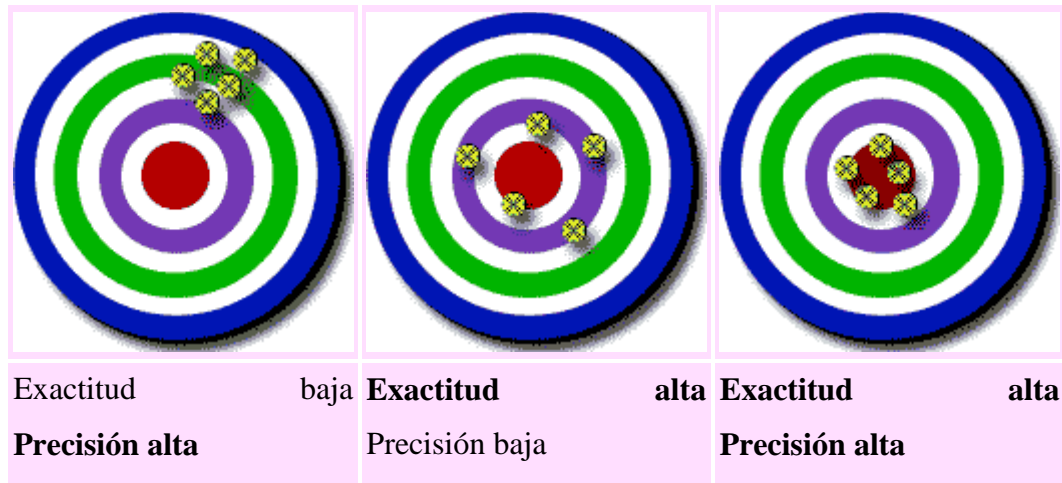


Figura 47. Gráfica de exactitud y precisión

Fuente: <http://www.disfrutalasmaticas.com/datos/exactitud-precision.html>

PORCENTAJE DE ERROR.

El porcentaje de error no es más que la diferencia entre el valor aproximado y el valor exacto, ese valor lo divides para el valor exacto y todo lo multiplicas por 100.

$$\%ERROR = \frac{Teorico - Experimental}{Teorico} * 100$$

Ejemplo: yo pensaba que vendrían 80 personas al concierto, pero vinieron 70.

$$\frac{|80 - 70|}{|80|} \times 100\% = \left(\frac{10}{80}\right) \times 100\% = 12.5\%$$

2.4.2.- Comparación de potencias.

Una vez concluido el término de la prueba de precisión del medidor este me dará como resultado la potencia generada por el sensor, mediante el tiempo, el KH y el número de vueltas del disco, la otra potencia es generada por la carga resistiva que se tiene, una vez obtenida estas dos potencias se realiza la comparación de las mismas mediante el error, con la fórmula siguiente:

$$\%ERROR = \frac{Teórico - Experimental}{Teorico} * 100$$

CAPITULO 3

IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE CONTRASTACIÓN.

Con los parámetros generales del equipo de contrastación desarrollados en el capítulo anterior, ahora toca la implementación del mismo para esto nos planteamos lo siguiente, ver la figura 48.



Figura 48. Módulo de contrastación armado.

Fuente: Autores.

- Consideraciones de diseño del módulo.
- Diseño de la carga fantasma.
- Selección de módulo de registro y medición.
- Diseño del sistema de conexiones.
- Implementación.

3.1 CONSIDERACIÓN PARA EL DISEÑO DEL EQUIPO DE PRUEBA.

Dado el complejo sistema que representa el equipo de contrastación, lo primero que se planteará son los parámetros de selección de equipos y dispositivos, así como materiales varios y protecciones generales, para ello teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Consideraciones De Funcionamiento.
- Consideraciones Eléctricas.

- Consideraciones Protecciones.
- Protecciones Eléctricas.
- Protecciones Térmicas.
- Consideraciones Físicas.

3.2 Consideraciones De Funcionamiento.

El equipo de contrastación debe funcionar de tal manera que permita lo siguiente:

- Facilidad Conexión, encendido y apagado seguro del mismo.

Para esto se utiliza un sistema de conexión normalizado que es capaz de brindar la flexibilidad de voltaje 120/240V y soportar las corriente máximas que se producirán en el mismo 30Amp, el encendido se realizara con un selector de dos posiciones con bloqueo por llave (ON/OFF). Ver figura 49.



Enchufe 110/220V



Selector con llave

Figura 49. Enchufe y selector.

Fuente: Autores.

- Facilidad de selección del nivel de voltaje al cual se realizara la prueba.

Se logra con un selector de dos posiciones con paso por “OFF” este selector deberá contar con identificación acorde a su posición de tal manera que por inspección simple se tendrá el voltaje deseado, que con la ayuda visual de una luz piloto se sabrá que ha sido seleccionado. Ver figura 50.



Figura 50. Selector dos posiciones con paso por “OFF” y luz piloto

Fuente: Autores.

- Facilidad de selección y conexión de la carga fantasma para la prueba.

En este caso la selección se la realiza igual que como se escoge el voltaje, con un selector de dos posiciones, lo nuevo sería el juego de conexiones mediante la electromecánica de contactores estas cargas resistivas ingresan automáticamente. Ver figura 51.



Figura 51. Contactor para conexión de cargas.

Fuente: Autores.

Ahora la carga en sí misma es tal vez la parte fundamental para el funcionamiento, está hecha en espiral con alambre desnudo. Ver figura 52



Figura 52. Resistencia.

Fuente: Autores.

- Instalación y remoción manual de los medidores monofásicos a contrastar.

Con una base socket normalizada se puede realiza este tipo de cambio sin problemas para el elemento sensor, dicho elemento debe ser flexible para poder ser ubicado de manera que pueda tomar lecturas correctas inclusive para medidores de 120v y 220v. Ver figura 53.

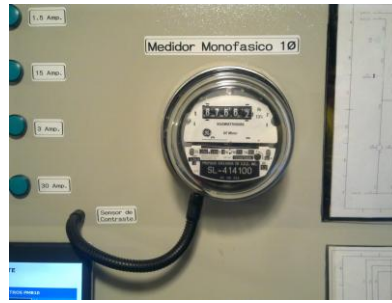


Figura 53. Medidor a contrastar y elemento sensor.

Fuente: Autores.

- Adquisición de datos en tiempo real y el protocolo de comunicación.

Como se plantea visualizar en un computador portátil los resultados de las pruebas, debemos trabajar con equipos capaces de adquirir, manejar, enviar y los datagramas fuente, para aquello se usamos soluciones actuales, que deben ser correctamente enlazadas. Por lo que contamos con equipo de medición de parámetros eléctricos y posibilidad de envío de datos. Ver figura 54.



Figura 54. Multimedidor PM800 de Schneider

Fuente: Autores.

Dado que el multimedidor posee una plataforma para el envío de datos establecida como MBUS (Modbus RTU) que como medio físico usa el estándar RS-485, nos obliga a usar una pasarela de datos con compatibilidad hasta nuestro PC-portátil que posee puertos USB. Ver figura 56.

Para lograr el cometido se usaran un convertidor de RS-485 a RS-232 y un convertidor de RS-232 hasta USB. Ver figura 55.



Figura 55. Convertidor ADAM 4520



Figura 56. Convertidor MANHATTAN

Fuente: Autores.

- Interpretación efectiva de los datos y la plataforma visual en la que se presentan los resultados de las pruebas.

Mediante un SCADA WinCC y el tratamiento apropiado de los datos adquiridos, la formulación de ingreso y datos y visualización de resultados es fácil y rápidamente interpretables. Ver figura 57.



Figura 57. SCADA WINCC

Fuente: Autores.

3.2.1. Consideraciones Eléctricas.

Dentro de las consideraciones eléctricas para el correcto funcionamiento del equipo contrastador de medidores, será apropiado definir niveles de voltaje, los elementos básicos, técnicas de cableado y las debidas protecciones eléctricas.

- Niveles de voltaje.

Dado que la variedad de dispositivos eléctricos y electrónicos así lo disponen se deben considerar los niveles de voltaje al cual estarán funcionando, de tal manera que equipos de control, selección, fuerza usan 120VAC, equipos de contrastación

120/240VAC, equipos electrónicos y pasarelas de comunicación 24VDC, equipos de medición y registro 24VDC y equipos de visualización 120VAC; por tanto se requiere además de la alimentación principal de voltaje alterno una fuente de corriente directa a 24V. Ver figura 58.



Figura 58. Fuente PHASEO 24VDC-2.5Amp

Fuente: Autores.

- Elementos básicos de conexión.

Es indispensable usar todos los elementos básicos de conexión eléctrica, estos aseguran largo tiempo de vida útil, entre los elementos básicos encontramos cables de control, marquillas, borneras, terminales de conexión, canaletas plásticas, amarras, etc.

- Técnicas de cableado.

Se debe proceder acorde al uso de técnicas de cableado correcto, de tal manera que cables de control no se hallen directamente con cables de fuerza, separación adecuada de equipos, todos los cables protegidos por el uso de canaletas o espirales plásticas, todos los cables con su debida marca y debidamente sujetos. Ver figura 59.



Figura 59 Cableado interno del contrastador de medidores.

Fuente: Autores

- Protecciones eléctricas.

Como en toda instalación eléctrica y todo equipo con igual forma de funcionamiento este también debe ser protegido de manera general y en sus partes principales.

En primer lugar la verificación del aterrizamiento eléctrico, luego el uso cables adecuadamente dimensionado; para fuerza cable THHN #10 AWG y para control cable THHN #14 AWG y el uso de breakers de protección nos garantizan este tipo de protección.

Breaker de protección principal: 3P-40Amp. Ver figura 60.

Breaker de protección sistema de fuerza: 2P-32Amp

Breaker de protección sistema de control: 1P-10Amp

Breaker de protección equipos electrónicos: 1P-10Amp



Figura 60 Breakers de protección.

Fuente: Autores.

3.2.2. Consideraciones Físicas.

Respecto a las consideraciones físicas tenemos hechos como el espacio físico para equipos, la modularidad y transportación, también hay que considerar la temperatura de los equipos eléctricos y electrónicos para así dimensionar protecciones térmicas de equipos y personas que deban ser incluidos en el diseño y también los efectos de deterioro en el tiempo.

- Espacio físico.

Tal vez una de las primeras consideraciones que se debe tomar en cuenta es que todo lleva su espacio, y existen además del volumen mismo del equipo, también los espacios de seguridad recomendados para un óptimo funcionamiento de los mismos.

Respecto a este tema lo más importante será la planificación de la ubicación de los mismos y la obtención de las dimensiones de equipos y dispositivos, que se pueden conseguir mediante la adquisición o la investigación en los catálogos de los fabricantes.

- Transportable y modular.

Para el diseño del tablero las consideraciones de transportación, tamaño, modularidad, detalles internos y otros inciden directamente sobre el costo de dicho pupitre. Entonces una vez desarrollados estos temas y con las dimensiones de los equipos se desarrolla un bosquejo con el cual se mandara a fabricar el módulo o pupitre donde se ubicaran los equipos.

Esta parte debe ser consultada con fábrica para escuchar opciones y modelos, así como el grado de detalles que afectaran el costo del mismo, obteniendo finalmente un plano definitivo del pupitre.

Entre más detalles y vistas gráficas se puedan enviar a fábrica será mejor el resultado. Ver figura 61.

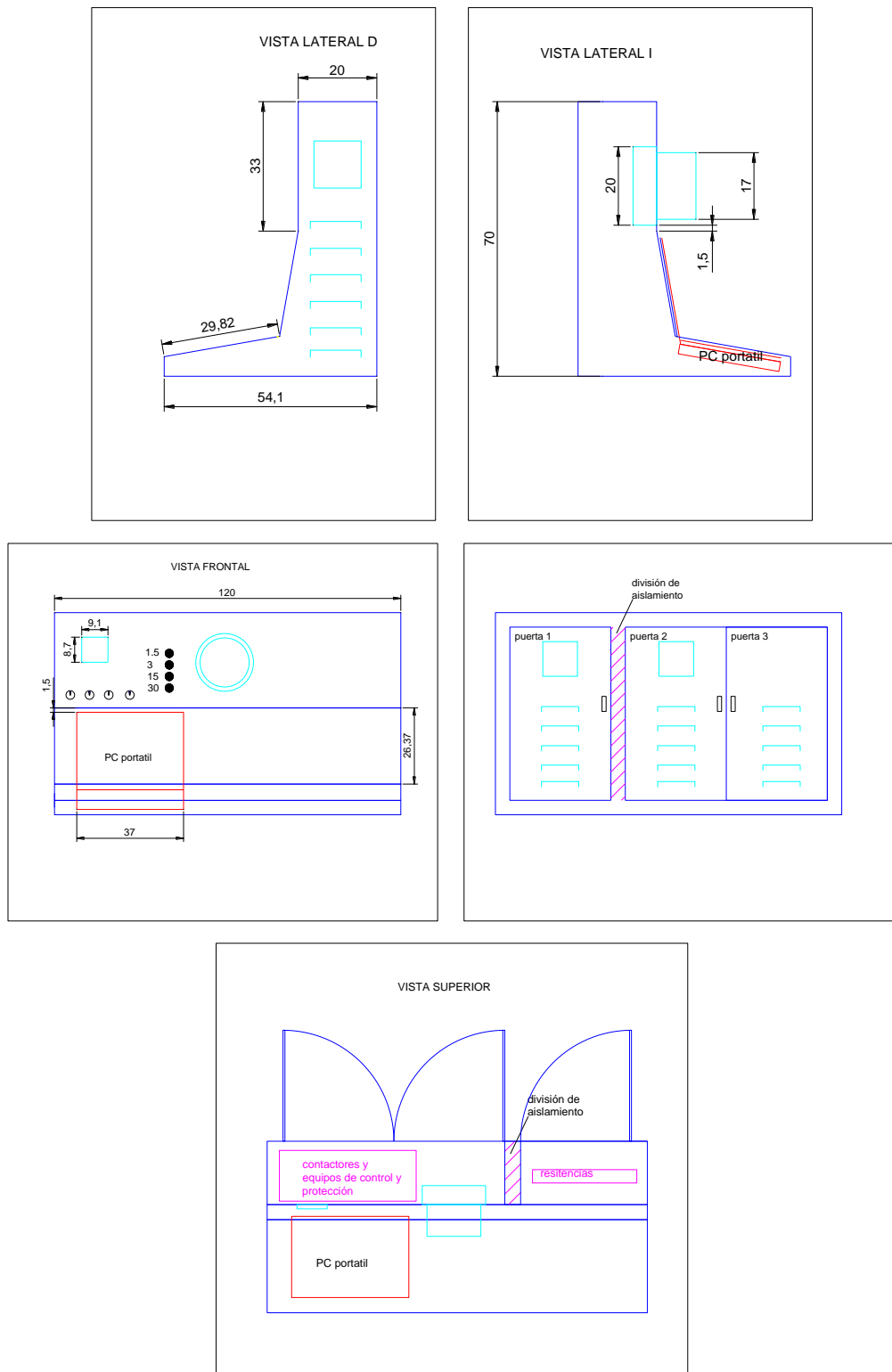


Figura 61. Vista superior.

Fuente: Autores.

- Protecciones Térmicas.

Se debe realizar un análisis de los dispositivos que producen calor, principalmente las resistencias que actuaran como carga, en este caso se vio la necesidad de aislar el área donde se hallaban presente las mismas, tanto como protección de los equipos electrónicos y también de la infraestructura metálica del tablero. Los paneles de poli estireno presentan un elevado nivel de aislamiento térmico, alta resistencia a la compresión y a la humedad, impermeabilidad y fácil de instalar, este sistema de aislamiento basado en planchas de espuma rígida de poli estireno extruido. Estas planchas se su clasificación al fuego M1 y su mínima absorción de agua hacen que sea una buena opción a la hora de aislar. Ver figura 62.



Figura 62. Paneles de poli estireno.

Fuente: Autores.

Adicionalmente se consideró un flujo de aire para ayudar con la disipación de calor, el cual se pudo lograr mediante extractores y ventilas a los costados de las paredes del tablero. Ver figura 63.



Figura 63 Lateral del tablero.

Fuente: Autores.

3.2 DISEÑO DE LA CARGA FANTASMA.

La carga fantasma es aquella resistencia que se utiliza en general para conseguir una reducción de tensión, tanto a nivel de pruebas como en funciones protectoras.

3.2.1 Descripción

Para poder realizar la contrastación de los medidores requerimos tener cargas para tipo de funcionamiento, dado a las pruebas de funcionamiento, condiciones de voltaje y corriente se deberán escoger el tipo de resistencia que se requiere.

Valores a requerir mediante las cargas resistivas:

Corriente 1,5Amp con voltaje de 120V.

Corriente 3Amp con voltaje de 240V.

Corriente 15Amp con voltaje de 120V.

Corriente 30Amp con voltaje de 240V.

3.2.2 Cálculo

Dado los datos de corriente y voltaje debemos encontrar los valores óhmicos y de potencia para nuestras cargas fantasmas; mediante la ley de Ohm, que establece que la corriente eléctrica (I) en un conductor o circuito, es igual a la diferencia de potencial (V) sobre el conductor (o circuito), dividido por la resistencia (R) que opone al paso, él mismo. La ley de Ohm se aplica a la totalidad de un circuito o a una parte o conductor del mismo. Ver figura 64.

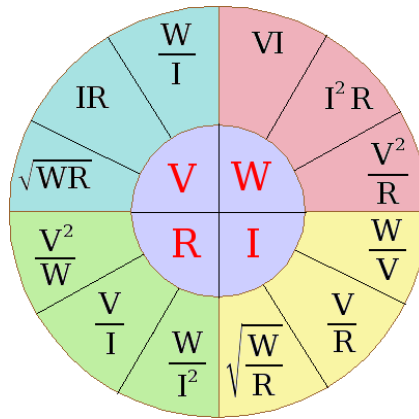


Figura 64 Círculo de Potencia.

Libros de física, Serway Beichner.

Podremos hacerlo de la siguiente manera.

Resistencia 1.-

Voltaje 120V, Corriente 1,5Amp.

$$R1 = \frac{V}{I1} = \frac{120}{1.5} = 80\Omega$$

$$P1 = V * I1 = 120 * 1.5 = 180w$$

Resistencia 2.-

Voltaje 240V, Corriente 3Amp.

$$R2 = \frac{V}{I2} = \frac{240}{3} = 80\Omega$$

$$P2 = V * I2 = 240 * 3 = 720w$$

Resistencia 3.-

Voltaje 120V, Corriente 15Amp.

$$R3 = \frac{V}{I3} = \frac{120}{15} = 8\Omega$$

$$P3 = V * I3 = 120 * 15 = 1800w$$

Resistencia 4.-

Voltaje 240V, Corriente 30Amp.

$$R4 = \frac{V}{I4} = \frac{240}{30} = 8\Omega$$

$$P4 = V * I4 = 240 * 30 = 7200w$$

3.2.3 Detalles técnicos

Existen muchos tipos de resistencias, dado la potencia a manejar y mediante la investigación de desarrollo local de las mismas, se decidió mandarlas a fabricar sobre la base de su capacidad de disipación de potencia, por lo cual dio como resultado el uso final de dos tipos de resistencias:

- Resistencia de tipo radial

Se fabrican sobre tubo cerámico, hilo resistivo de Ni-Cr o Ni-Cu, con fijación y distribución de la temperatura en esmalte o con una variante de cemento, admiten cargas elevadas en los tipos con protección cerámica. Se construyen en cualquier valor óhmico. Ver figura 65.



Figura 65. Resistencia Radial.

Fuente. Autores.

- Resistencias tipo tubular.

Sobre un cilindro cerámico se arrolla una bobina de hilo calefactor la cual ha sido diseñada a fin de lograr la exacta dimensión y distribución.

Esta bobina está situada en el interior de un tubo de acero inoxidable NiCr8020, sellado por soldadura en un extremo y relleno de una capa de oxido de magnesio de alta densidad, que una vez compactada, dejara el hilo de la resistencia a 1,5 mm de la vaina, para lograr una perfecta y rápida transmisión de calor. Ver figura 66



Figura 66 Resistencia Tubular.

Fuente. Autores.



Figura 67. Vista interna de las resistencias del equipo de contrastación.

Fuente. Autores.

3.2.4 MÓDULO DE REGISTRO Y MEDICIÓN

El modulo de registro y medición es la parte principal de nuestro equipo de contrastación. Ya que mediante de el Hardware Scada es lo que nos permite llevar a cabo todas estas funciones.

3.2.5 Hardware SCADA

SCADA (control supervisorio y adquisición de datos); el hardware del scada está conformador por todos los equipos con capacidad de adquirir, comunicar y mostrar datos de un proceso en tiempo real. Para poder llevar a cabo nuestro cometido de estudio es necesario contar con lo siguiente integrar la energía y parámetros eléctricos, contabilizar la potencia del disco, registrar el conteo, envío de datos, comparación y visualización de datos y resultados de cálculos. Gracias a la tecnología moderna podemos contar con un equipo que realiza gran parte de todas estas funciones, este es un multi-medidor con capacidad de comunicación de datos y con entradas digitales. Ver figura 68.

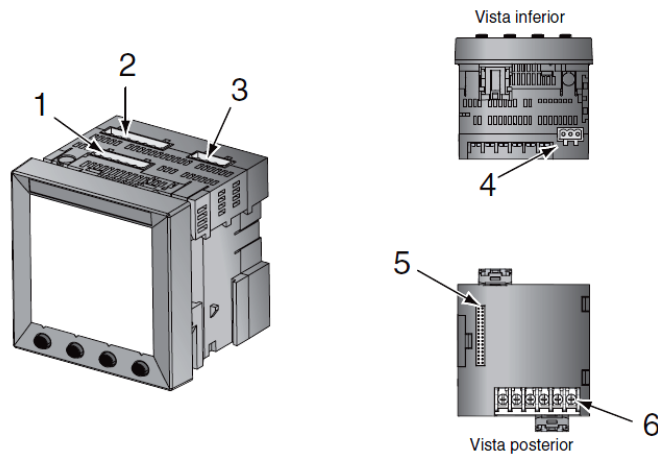


Figura 68. Multi-medidor PM800.

Fuente. Autores.

Núm.	Pieza	Descripción
1	Conector de alimentación	Conexión de alimentación a la central de medida.
2	Entradas de tensión	Conexiones de medición de tensión.
3	Conector E/S	Conexiones de salida de impulsos KY/entrada digital.
4	Puerto RS-485 (COM1)	El puerto RS-485 se utiliza para las comunicaciones con un sistema de supervisión y control. Este puerto se puede conectar en bus de comunicaciones serie con otros dispositivos.
5	Conector de módulos opcionales	Se usa para conectar un módulo opcional a la central de medida.
6	Entradas de intensidad	Conexiones de medición de intensidad.

Tabla 5. Partes del Multi-medidor PM800.

Fuente. Autores.

3.2.6 Sistema integrador de energía y parámetros eléctricos.

La central de medida de un multi-medidor PM800 mide intensidades y tensiones en tiempo real los valores rms de las intensidades de las tres fases y de neutro. Asimismo, calcula el factor de potencia, la potencia activa, la potencia reactiva, etc. Por tanto este equipo será utilizado como sistema patrón de comparación con los medidores a contrastar.

Para esto debemos conocer como se debe realizar el ingreso de las señales eléctricas a medir, para esto el siguiente esquema de conexión. Ver figura 69.

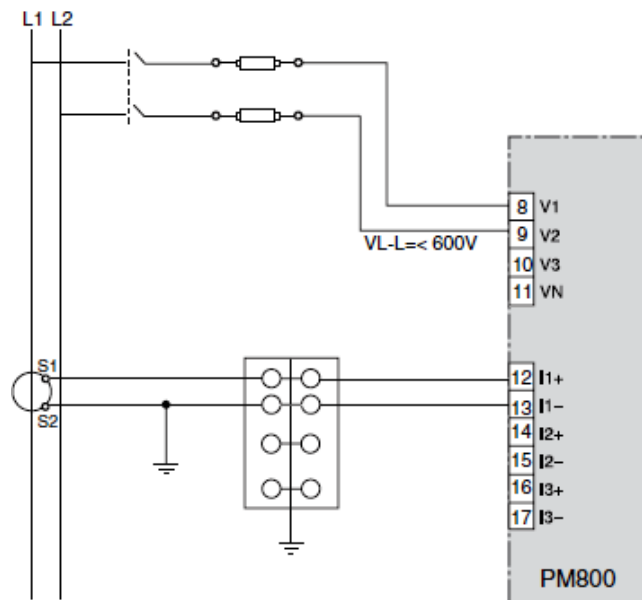


Figura 69. Medición de parámetros eléctricos en PM800.

Fuente. Autores.

3.2.7 Sistema contabilizador de la potencia del disco.

Se requiere un sensor que contabilice las vueltas que toma el disco del medidor a contrastar, una foto sensor es el dispositivo ideal ya que este convierte la luz en una carga eléctrica, cuanto más contraste de luz, mayor será la carga, si se proyecta la franja negra del disco esta imagen generará una carga eléctrica basada en el contraste del brillo (parte plateada del disco) y la pequeña parte de la imagen que "caiga" en él.

Nosotros por motivo de disponibilidad local y gracias al adecuado asesoramiento estamos utilizando un foto sensor de marca HANYOUNG modelo PG-TR. El foto sensor está compuesto de dos partes, la primera es el sensor óptico que consiste en un cable de fibra de vidrio con terminación en un conector roscado; la segunda el convertidor de señal luminosa a señal eléctrica el cual tiene la capacidad de calibración y configuración de polaridad. Ver figura 70.



Figura 70. Foto sensor.

Fuente. Autores.

Una vez convertida en señal eléctrica esta puede ser ingresada hasta el modulo de entrada digital de central de medida del PM800, esta entrada digital es de estado sólido. Es posible registrar las vueltas del disco como eventos. Ver figura 71.

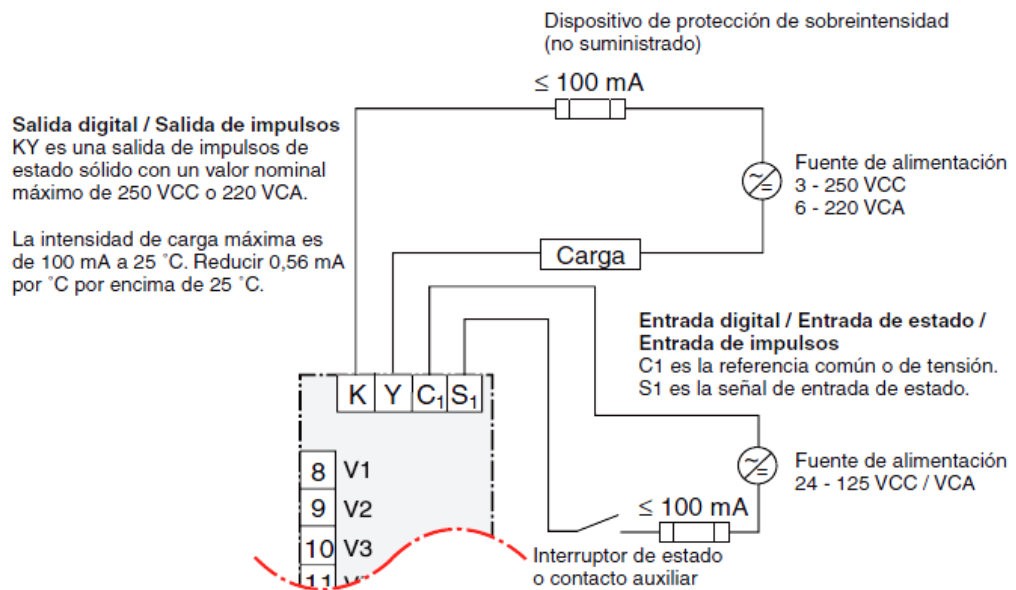


Figura 71. Cableado de Señal digital al PM800.

Fuente. Autores.

3.2.8 Comunicación y envío de datos

La central PM800 incorpora de serie un puerto de comunicación RS 485, 1 entrada digital, 1 salida de impulsos, configuración y registro de alarmas en la unidad base. Ver figura 72.

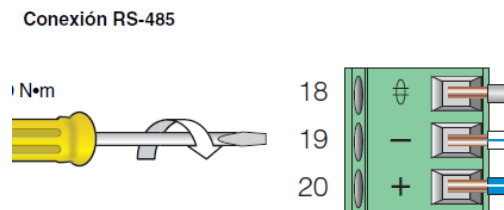


Figura 72. Cableado de Señal digital al PM800.

Fuente. Autores.

El protocolo es MBUS (Modbus RTU) que como medio físico usa el estándar RS-485, lo que nos obliga a usar una pasarela de datos con compatibilidad hasta nuestro PC-portátil que posee puertos USB. Ver figura 73.

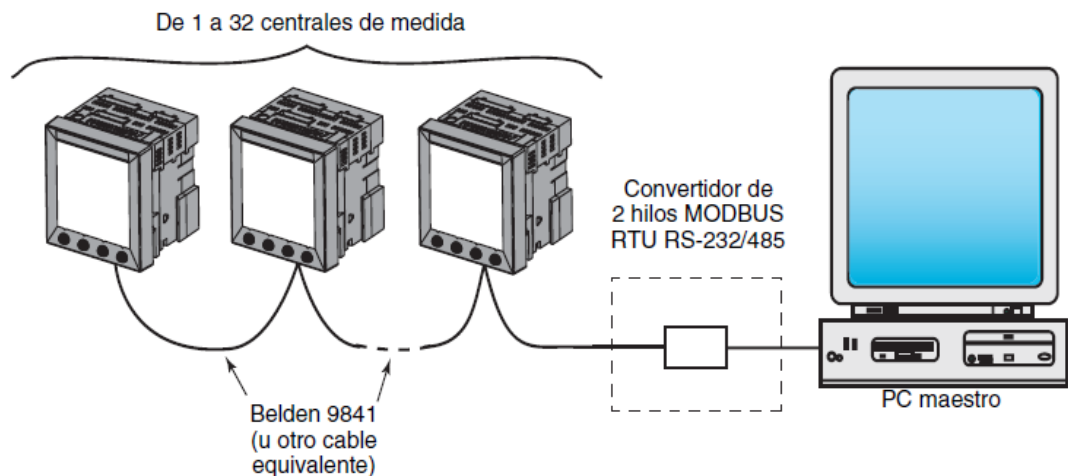


Figura 73 Uso de pasarelas para comunicación hasta PC.

Fuente. Autores.

3.2.9 Registro, comparación y visualización de datos.

Una vez planteado la forma de comunicar los datos el registro, la comparación y la visualización de los mismos se llevan a cabo a través de un PC portátil y el uso de plataformas informáticas. Ver figura 74.



Figura 74. PC portátil, sistema de registro, comparación y visualización.

Fuente. Autores.

En la figura 75 se muestra un esquemático del módulo de registro y medición.

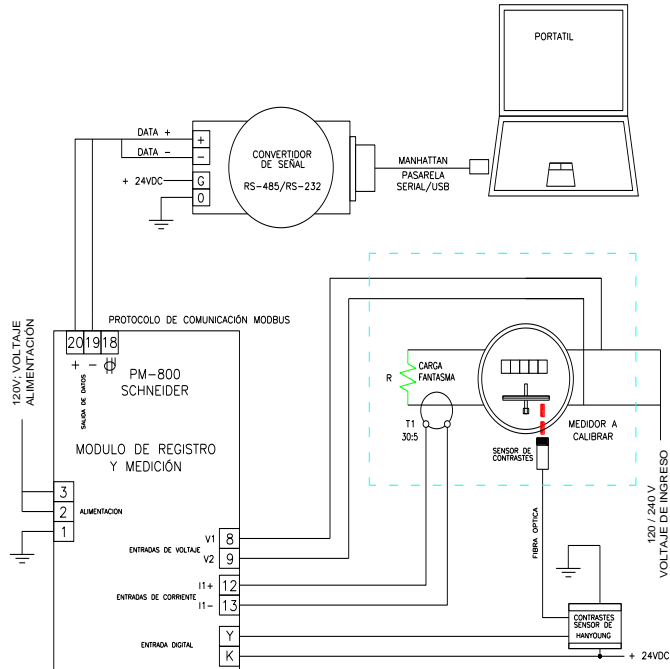


Figura 75. Esquemático del módulo de registro y medición.

Fuente. Autores.

3.2.10 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONEXIONES.

3.2.10.1 Planos

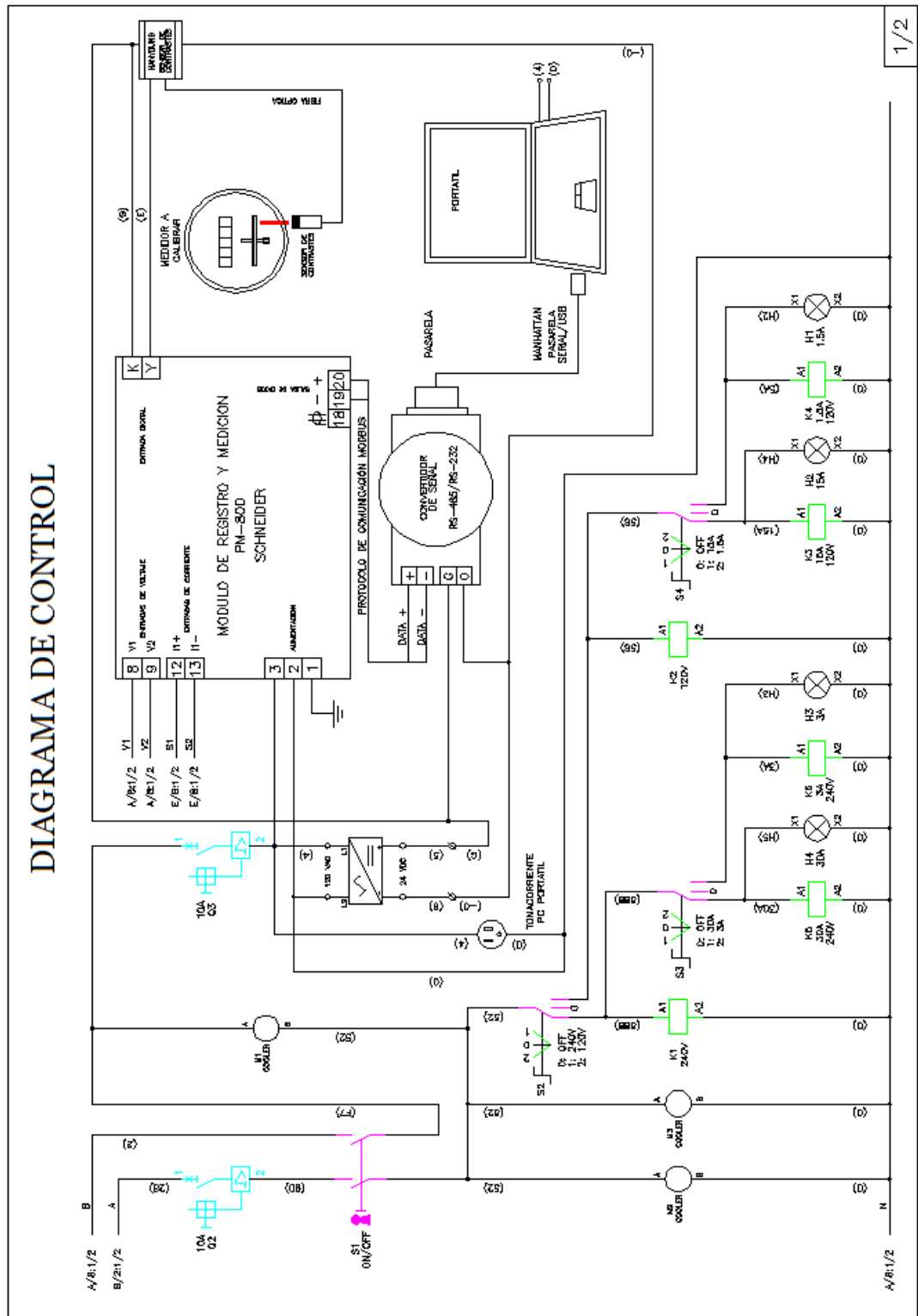


Figura 76. Plano Diagrama de Control.

Fuente. Autores.

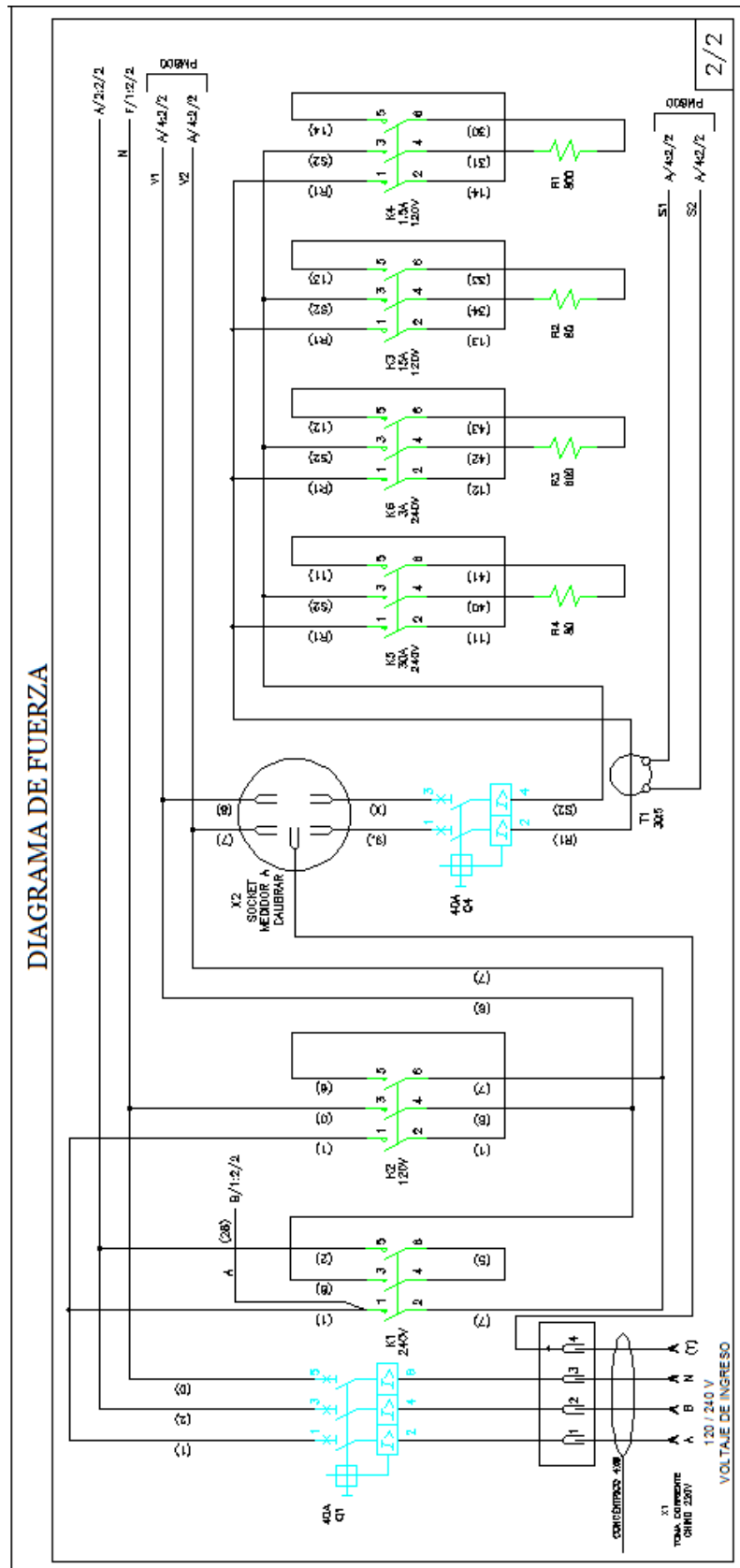


Figura 77. Plano Diagrama de Fuerza.

Fuente. Autores.

3.2.11 IMPLEMENTACIÓN.

Para la desarrollo del equipo de contrastación se requirió mucho tiempo de análisis y trabajo, a continuación el detalle de sus materiales y los pasos para la implementación.

3.2.12 Materiales empleados en el equipo de contrastación

Breakers 3 polos 40A	u	1
Breakers 1 polos 10A	u	2
Breakers 2 polos 30A	u	1
Selector 3 posiciones	u	3
Selector 2 posiciones fijas(Llave)	u	1
Luces Piloto	u	4
Contactores serie K	u	3
Contactores serie D	u	3
Modulo metálico para el equipo	u	1
Resistencias	glb.	1
Transformador de corriente	u	1
Cable flexible #16	rollo	1
Paneles de Poliestireno	u	2
Cable flexible #8	m	25
Base Socket 5 terminales	u	1
Borneras de control y fuerza	glb.	1
Cable concéntrico 4x10 awg flexibe	m	4
Enchufe 30Amp.	u	1
Rieles Din	glb.	1
Ventiladores	u	3
Brazo graduador para sensor	u	1
Convertidor manhathan	u	1
Cable USB	u	1
Amarras plasticas	100u	1
Módulo de adquisición de datos PM-800	u	1
Fuente de 24VDC	u	1
Sensor óptico de contraste	u	1
Convertidor ADAM	u	1
Diseño del software de control	u	1
Planchas acrílicas	u	6
Rótulos de identificación	glb.	1
Marquillas	glb.	1
Canaletas pvc	u	2
Computadora portátil	u	1
Materiales varios(Cinta aislante, terminales, tornillos, etc)	glb.	1

Tabla #6. Materiales Eléctricos

Fuente: Autores.

3.2.13 Fabricación de pupitre



Figura 78. Fabricación del pupitre 1.

Fuente. Autores.



Figura 79. Fabricación del pupitre 2.

Fuente. Autores.



Figura 80. Fabricación del pupitre 3.

Fuente. Autores.



Figura 81. Fabricación del pupitre 4.

Fuente. Autores.

3.2.14 Instalación de equipos



Figura 82. Instalación de equipos 1

Fuente. Autores.



Figura 83. Instalación de equipos 2

Fuente. Autores.



Figura 84. Instalación de equipos 3

Fuente. Autores.



Figura 85. Instalación de equipos 4

Fuente. Autores.

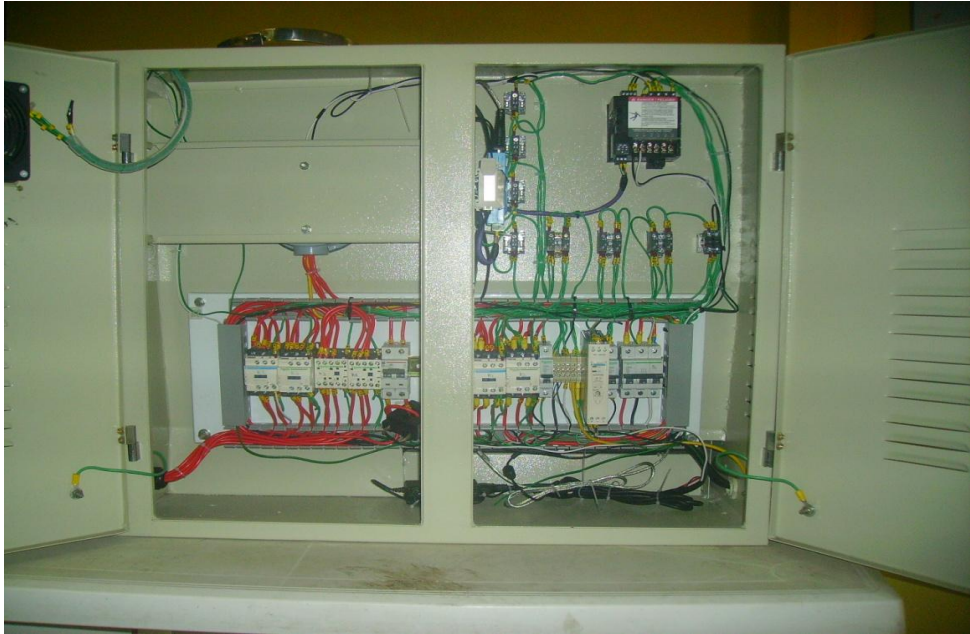


Figura 86. Instalación de equipos 5
Fuente. Autores.



Figura 87. Instalación de equipos 6
Fuente. Autores.

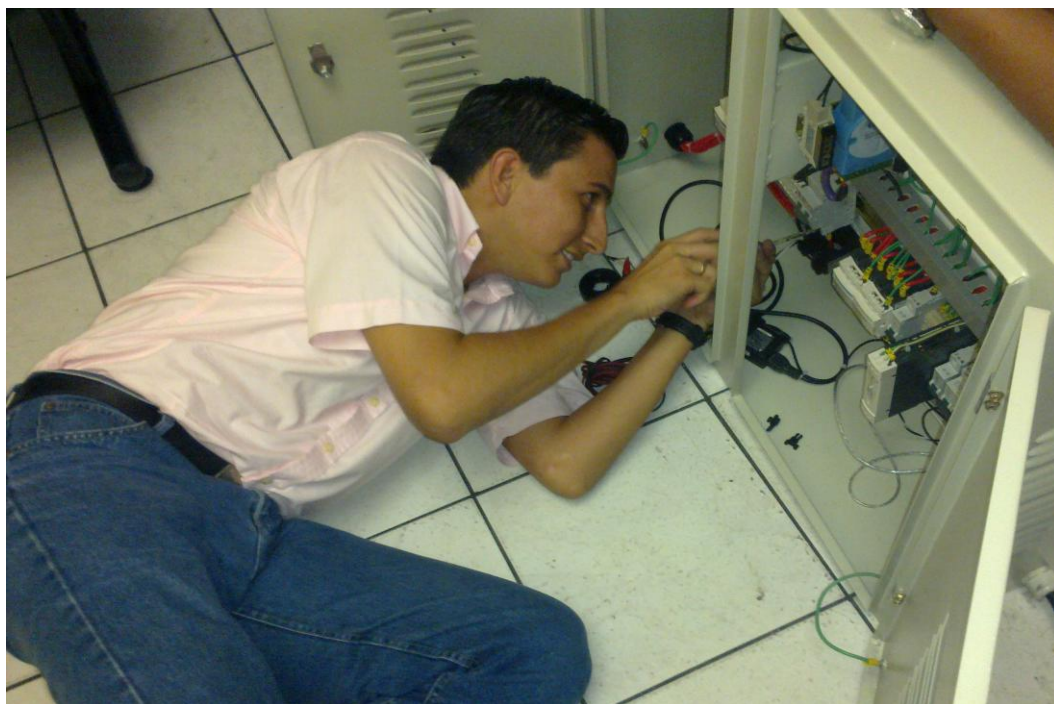


Figura 88. Instalación de equipos 7

Fuente. Autores.



Figura 89. Instalación de equipos 8

Fuente. Autores.



Figura 90 Instalación de equipos 9

Fuente. Autores.



Figura 91. Instalación de equipos 10

Fuente. Autores.

3.2.15 Pruebas y puesta en marcha



Figura 92. Puesta en marcha.

Fuente. Autores.

CAPÍTULO 4

DISEÑO, PROGRAMACIÓN Y COMUNICACIÓN DEL EQUIPO DE CONTRASTACIÓN.

Este manual es una guía rápida para el manejo del sistema de calibración de medidores, la cual está dividida en pantallas de fácil acceso.

Cada una de las pantallas tiene un menú de navegación entre pantallas.

4.1.- Elementos de las Pantallas

PANTALLA TIPO

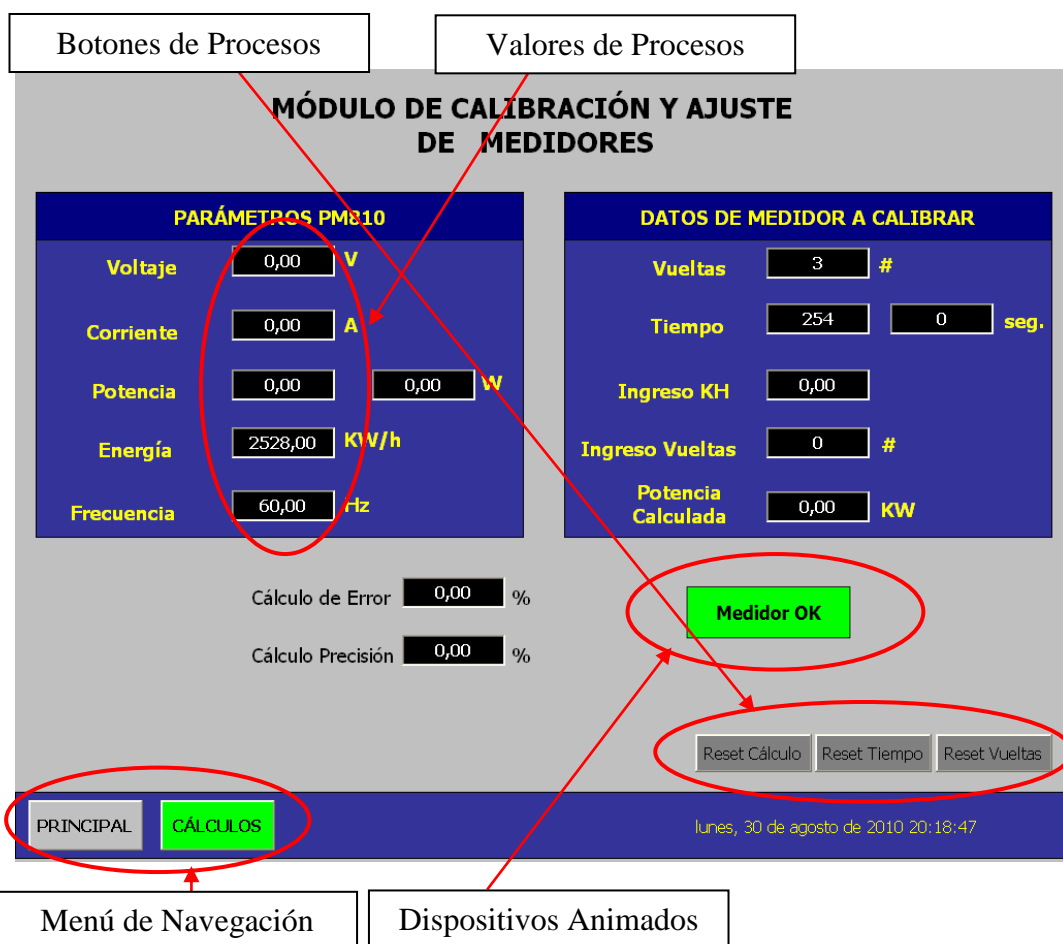
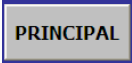
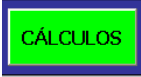


Figura 93. Elementos de la pantalla.

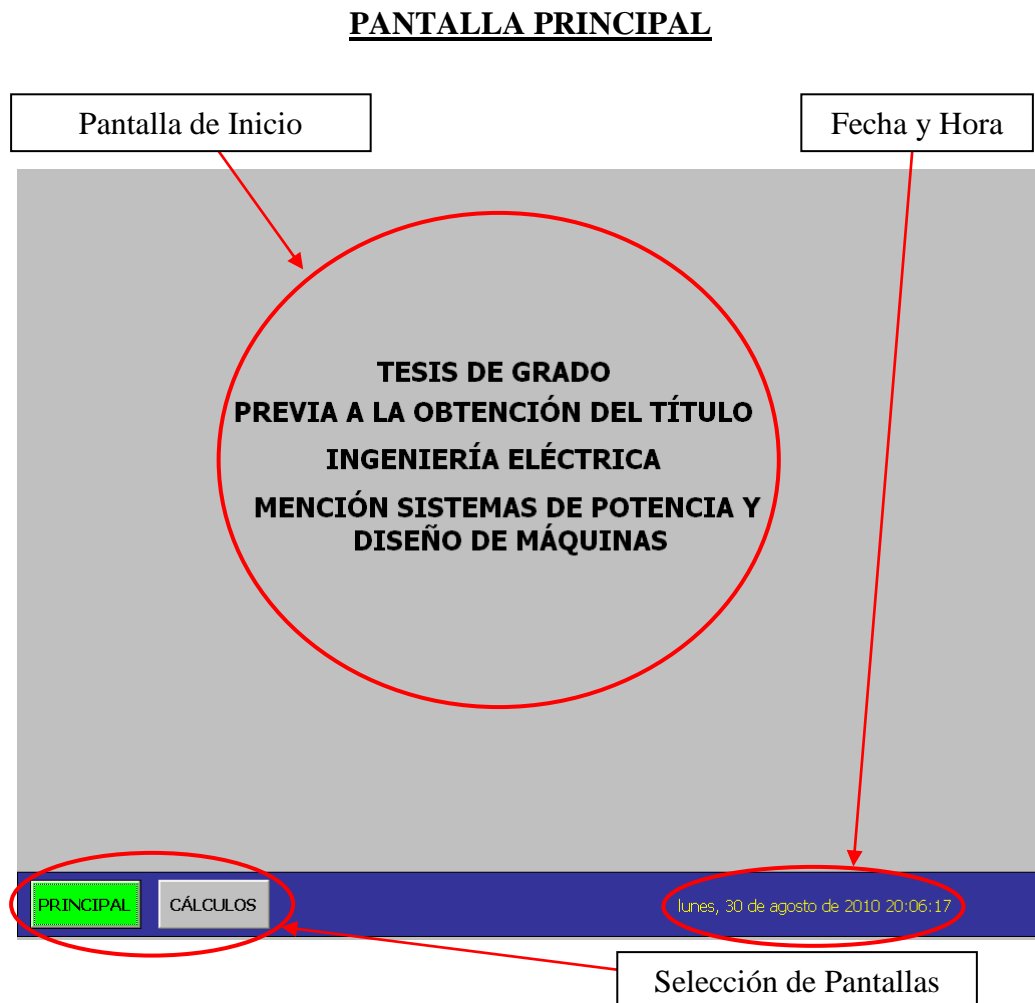
Fuente. Autores.

4.2.- Menú de Navegación.

Este contiene los accesos a diferentes pantallas, va a variar según la pantalla. Los únicos botones comunes en todas las pantallas son:

-  Abre la página principal o de inicio.
-  Pantalla de Calibración.

La pantalla PRINCIPAL o INICIO es la pantalla que nos da la opción de ingresar a cada una de las pantallas del sistema. Ver figura 94.



Fuente. Autores.

4.3.- Módulos del Sistema.



El sistema consta de tres pantallas:

- a) **Principal.**- Es la pantalla de saludo del sistema en el cual se indica por que se realiza el módulo didáctico.
- b) **Cálculos.**- Es la pantalla donde se realiza los cálculos y se comparan con el dispositivo patrón para verificar el estado de un medidor si está o no apto para ser distribuido para el cliente final.

4.4.- Puesta en servicio del módulo de calibración de medidores

Para el correcto funcionamiento del módulo se necesitan seguir los siguientes pasos

Antes de poner de poner en servicio el módulo se debe reconocer los selectores que tienen y para que sirve cada uno los cuales describo a continuación:

4.4.1.- Selector con llave.- Este controla el encendido general del módulo. Como su descripción se utiliza una llave y con medio giro de ella se habilita la alimentación general del módulo. Ver figura 95.



Figura 95. Selector con llave de encendido.

Fuente. Autores.

4.4.2.- Selector Sistema 120V o 240V.- Con este selector se predispone al módulo a trabajar en un sistema de voltaje ya sea este 120VAC o 240VAC para probar varios tipos de medidores por diseño. Ver figura 96



Figura 96. Selector Sistema 120V o 240V

Fuente. Autores.

4.4.3.- Selector Carga 120V 1,5 A o 15 A.- Por diseño con este selector se escogerá la corriente que se desea para el cálculo de potencia pero con voltaje de 120VAC. Ver figura 97.



Figura 97. Selector Carga 120V 1,5 A o 15 A

Fuente. Autores.

4.4.4.- Selector Carga 240V 3 A o 30 A.- Por diseño con este selector se escogerá la corriente que se desea para el cálculo de potencia pero con voltaje de 120VAC. Ver figura 98.



Figura 98. Selector Carga 240V 3 A o 30 A
Fuente. Autores.

4.4.5.- Luz Piloto Carga 120V 1,5 A.- Con esta luz piloto se confirma la activación del contactor de fuerza que energiza a las resistencias correspondientes para lograr la corriente deseada. Ver figura 99

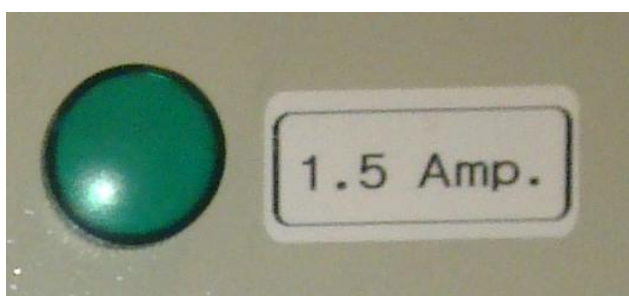


Figura 99. Luz Piloto Carga 120V 1,5 A
Fuente. Autores.

4.4.6.- Luz Piloto Carga 120V 15 A.- Con esta luz piloto se confirma la activación del contactor de fuerza que energiza a las resistencias correspondientes para lograr la corriente deseada. Ver figura 100.

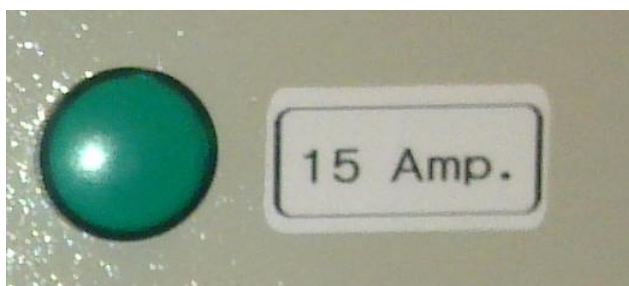


Figura 100. Luz Piloto Carga 120V 15 A
Fuente. Autores.

4.4.7.- Luz Piloto Carga 240V 3 A.- Con esta luz piloto se confirma la activación del contactor de fuerza que energiza a las resistencias correspondientes para lograr la corriente deseada. Ver figura 101.

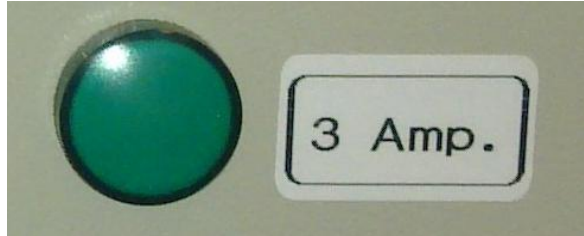


Figura 101. Luz Piloto Carga 240V 3 A
Fuente. Autores.

4.4.8.- Luz Piloto Carga 240V 30 A.- Con esta luz piloto se confirma la activación del contactor de fuerza que energiza a las resistencias correspondientes para lograr la corriente deseada. Ver figura 102.

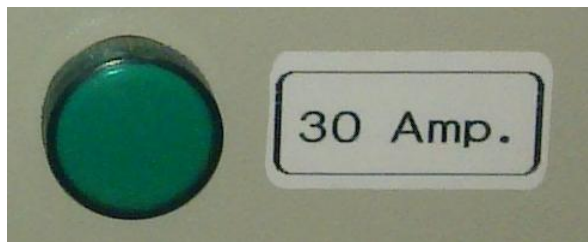


Figura 102. Luz Piloto Carga 240V 30 A
Fuente. Autores.

4.4.9.- Sensor de contraste.- Con este sensor se puede detectar la franja negra que tienen los medidores electromecánicos en su dispositivo de rueda.

Nota.- La alimentación de la computadora del sistema está ligada también al selector con llave que controla la alimentación general del sistema.

4.5.- Procedimiento de calibración de los medidores.

Paso #1

Retirar del medidor la cubierta de vidrio para que el sensor de contraste se acople con su brazo mecánico al dispositivo de rueda del medidor y colocarlo en socket del medidor.

Nota.- Tenga en consideración que si el módulo está conectado a la red de energía eléctrica siempre va a existir en los terminales del socket 240VAC así no esté activado el selector de llave. Ver figura 104.

Paso #2

Acoplar el brazo mecánico del sensor de contraste al dispositivo de rueda del medidor.

Paso #3

Activar el selector de llave y verificar que los equipos enciendan.

Paso #4

Verificar la señal emitida por sensor de contraste. Esto se puede verificar en el PM800 en la pantalla I/O entradas digitales se encuentra el contador de vueltas si este se incrementa cada vez que pasa por la franja negra significa que se encuentra bien acoplado el brazo mecánico.

Paso #5

Encender el computador. Al encender la computadora automáticamente el OPC server de Matrikon se ejecutará con los enlaces correspondientes al PM800, se puede verificar viendo en el Matrikon explorer los datos leídos desde el PM800, dando un solo clic en el árbol de tareas en la opción que dice Modbus PM800, se observará del lado derecho de la pantalla los datos requeridos de medidor para hacer los cálculos respectivos.

Paso #6

Ejecutar la Aplicación del sistema SCADA cuyo nombre es:

Interface Medidor PM800.hmi

Con eso se abrirá la aplicación en la pantalla principal.

Paso #7

Dar un clic en el Botón Calibración con eso se mostrará la pantalla siguiente.

MÓDULO DE CALIBRACIÓN Y AJUSTE DE MEDIDORES

PARÁMETROS PM810		DATOS DE MEDIDOR A CALIBRAR	
Voltaje	0,00 V	Vueltas	3 #
Corriente	0,00 A	Tiempo	254 0 seg.
Potencia	0,00 W	Ingreso KH	0,00
Energía	2528,00 KW/h	Ingreso Vueltas	0 #
Frecuencia	60,00 Hz	Potencia Calculada	0,00 KW

Cálculo de Error 0,00 %
Cálculo Precisión 0,00 %

Reset Cálculo Reset Tiempo Reset Vueltas

PRINCIPAL CÁLCULOS

lunes, 30 de agosto de 2010 20:18:47

Figura 103. Procedimientos de calibración de los medidores.

Fuente. Autores.

Paso #8

Encerar al medidor mecánico, esto se logra colocando el dispositivo de rueda en la posición que la franja negra esté siendo detectada por el sensor, esto se puede verificar observando que el tiempo deje de contar, es decir que cuando el sensor detecte la franja negra el tiempo deja de correr.

Paso #9

Encerar los tiempos, números de vueltas y los cálculos solo dando un clic en los botones siguientes: ver figura 104.

MÓDULO DE CALIBRACIÓN Y AJUSTE DE MEDIDORES

PARÁMETROS PM810		DATOS DE MEDIDOR A CALIBRAR	
Voltaje	0,00 V	Vueltas	3 #
Corriente	0,00 A	Tiempo	254 0 seg.
Potencia	0,00 0,00 W	Ingreso KH	0,00
Energía	2528,00 KW/h	Ingreso Vueltas	0 #
Frecuencia	60,00 Hz	Potencia Calculada	0,00 KW

Cálculo de Error 0,00 %
Cálculo Precisión 0,00 %

Reset Cálculo Reset Tiempo Reset Vueltas

PRINCIPAL CÁLCULOS Lunes, 30 de agosto de 2010 20:18:47

Figura 104. Procedimientos de calibración de los medidores.

Fuente. Autores.

Paso #10

Ingresar las vueltas deseadas para hacer el cálculo.

Paso #11

Ingresar el Kh de medidor.

DATOS DE MEDIDOR A CALIBRAR

Vueltas	3 #
Tiempo	254 0 seg.
Ingreso KH	0,00
Ingreso Vueltas	0 #
Potencia Calculada	0,00 KW

Figura 105. Procedimientos de calibración de los medidores.

Fuente. Autores.

Paso #12

Seleccionar el voltaje del sistema ya sea este 120VAC o 240VAC con el selector correspondiente. Ver figura 106.

Paso #13

Seleccionar la corriente de carga ya sea este 1,5 - 3 – 15 – 30 A con el selector correspondiente. En este momento que se energiza la carga se pone en marcha al sistema, un ciclo demorará según el número de vueltas, cargas escogidas y medidor seleccionado.

Automáticamente a lo que el número de vueltas es igual al número de vueltas ingresadas se procede al cálculo de la potencia y es comparada con la potencia el medidor electrónico patrón. Si el error es menor al $\pm 2\%$ el medidor está en condiciones de operar, en caso contrario el medidor necesita de un ajuste.

Para saber que medidor está en calibrado aparecerá un mensaje en el recuadro inferior. Ver figura 106.



Figura 106. Procedimientos de calibración de los medidores.

Fuente. Autores.

Si el medidor no cumple las condiciones se procede al ajuste por medio del tornillo de ajuste del medidor y se repite el procedimiento desde el Paso #8.

Nota: Paso 11, 12 y 13 dependen del tipo de medidor a utilizar.

4.6.- PRUEBA DE CARGA.

La prueba de carga básicamente trata de saber en cuantos minutos da 1 kw dependiendo de los datos de voltaje, corriente y potencia.

Lo podemos demostrar en un ejemplo:

Ejemplo:

Tenemos una corriente de 13 A. Un voltaje de 120 v. Nuestra potencia seria:

$$P = V * I$$

$$P = 120 * 13$$

$$P = 1560W$$

$$P = 1.56KW$$

$$1.56kW \text{-----} 60 \text{ min}$$

$$1Kw \text{-----} x$$

$$X = \frac{60 \text{ min} * 1Kw}{1.56Kw} = 38.46 \text{ min}$$

CAPÍTULO 5

APLICACIÓN DEL EQUIPO DE CONTRASTACIÓN PORTÁTIL EN LOS SECTORES NORTE Y SUR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL- ECUADOR.

5.1.- Cultura de servicio al usuario.

Una aplicación muy importante que se le puede dar al equipo de contrastación portátil para medidores monofásicos es de utilizarlo en la Unidad Eléctrica de Guayaquil, para calibrar los medidores y dejarlos con una precisión que esté dentro del rango permitido, tomando en cuenta el margen de error que se debe tener para los medidores clase 100 y 200 que es el $\pm 2\%$.

De acuerdo con la cultura que existe en la ciudad de Guayaquil que en ciertos sectores no es muy buena, el objetivo del equipo de contrastación portátil es dar a conocer el un buen servicio que se le puede brindar al usuario, obviamente al principio ellos no aceptarían el hecho de que su medidor sea probado en una máquina cualquiera por diferentes motivos que pueden existir, pero en ese momento es cuando viene el buen trato del trabajador hacia el cliente.

Basándonos en un compromiso con ellos explicándoles y demostrándoles si es que el medidor está alterado o manipulado, se realiza las diferentes pruebas: prueba visual, prueba de precisión, prueba de carga etc. Al haber alguna alteración en el medidor, se procederá hacer las revisiones y pruebas necesarias para que el medidor quede en óptimas condiciones y a generar un informe del daño que se encontró en el medidor. Si al medidor no se le encuentra ninguna anomalía se procede a ubicarlo en su sitio y sellarlo.

El tiempo de ejecución de la prueba que se le realice al medidor dependerá de ciertos factores, tales como: primero hasta que se conversa con el cliente para realizarle la prueba del medidor, segundo la revisión visual del medidor, y tercero

la prueba del medidor en el equipo de contrastación portátil que depende mucho como se encuentre dicho medidor.

Uno de los objetivos principales del equipo de contrastación portátil es de brindar su servicio domiciliario a cada uno de los usuarios con el fin de que el medidor sea probado en el sitio para que de esta manera no exista pérdidas de cobro en la Unidad Eléctrica de Guayaquil, el cual se genera por el tiempo que existe entre que el medidor está fuera del sitio hasta ser probado en los laboratorios y retorna al usuario de nuevo.

En la actualidad en la Unidad Eléctrica de Guayaquil trabaja con un Sistema de Geo-referenciación (GIS) el cual nos presenta el mapa de toda la ciudad de Guayaquil sectorizado, este programa consiste en graficar y al mismo tiempo nos ayuda a visualizar cada uno de los medidores existentes en los diferentes sectores que existen en la ciudad, como son: sector norte, centro, sur, vía Daule, vía la costa, etc.

A continuación se muestra uno de los mapas del GIS con distintos sectores en el que se puede visualizar los medidores de un sector determinado. Ver figura 107.

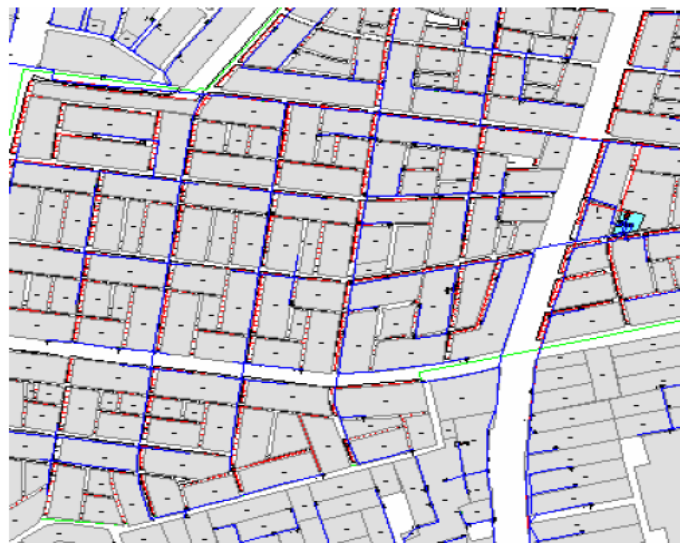


Figura 107. Mapa del sistema GIS.

Fuente. Autores.

En los gráficos siguientes, mediante el sistema GIS se elige un sector determinado para saber que medidor existe en el sitio y saber cuántos hay en el sector según el levantamiento hasta el 6 de enero del 2010. Como ejemplo se eligió la ciudadela la garzota. Ver figura 108.

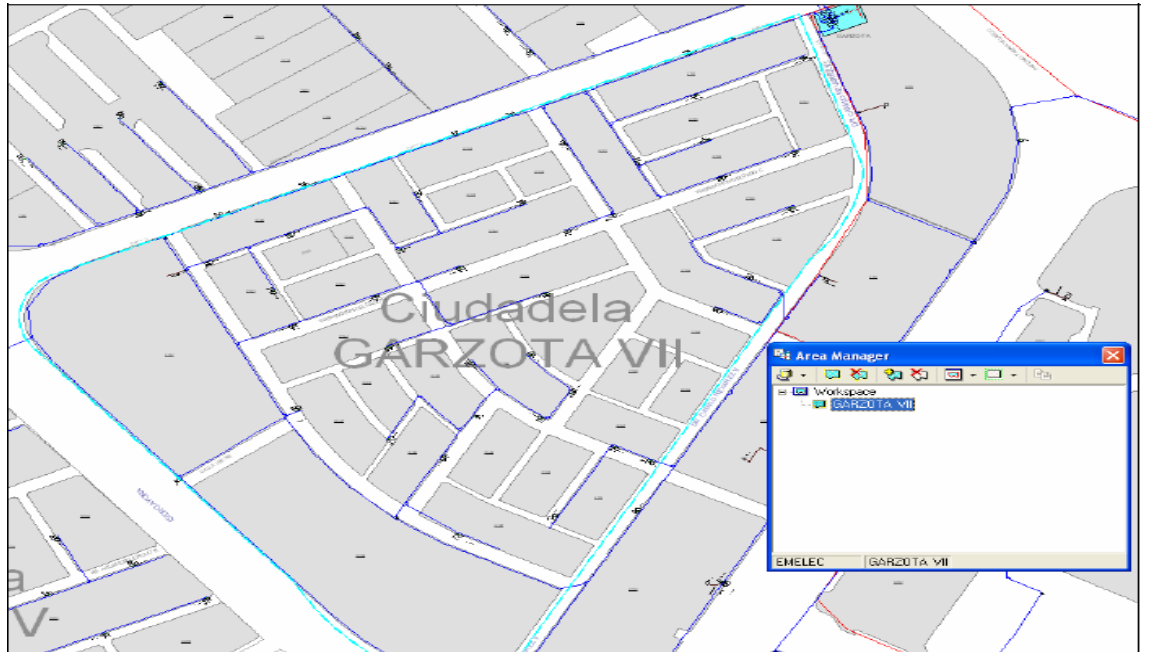


Figura 108. Mapa del sistema GIS del sector Garzota.

Fuente. Autores.

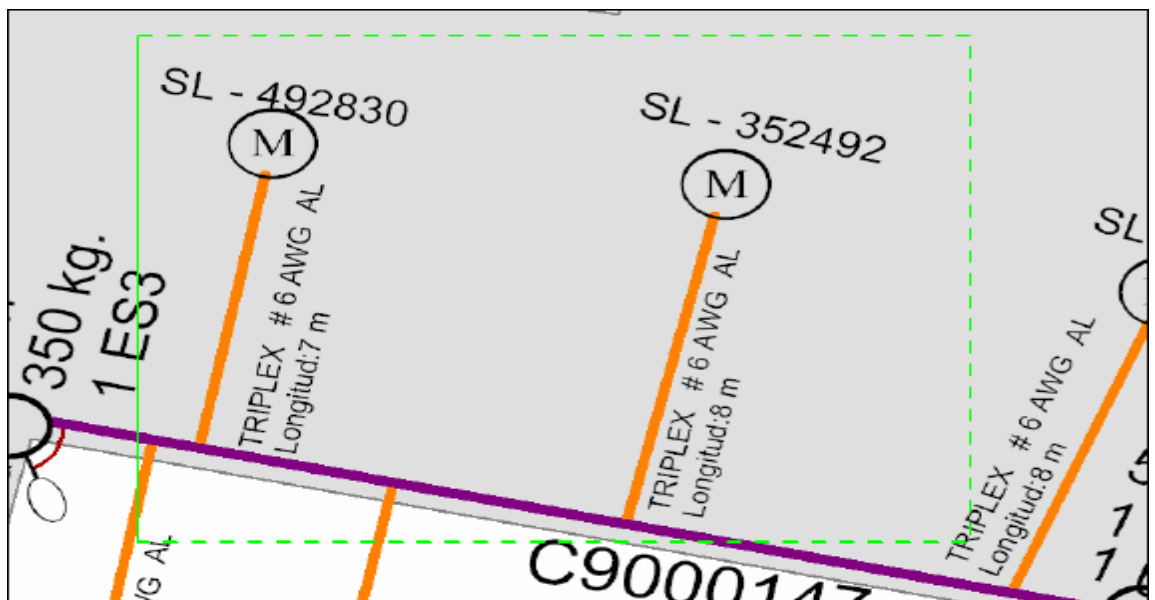


Figura 109. Mapa del sistema GIS del sector Garzota.

Fuente. Autores.

En la ciudad de Guayaquil aproximadamente existen 600.000 mil medidores que han sido levantados (dibujados en el sistema GIS).

En la tabla que se encuentra en el anexo 1 al final del documento, presenta un listado de ciudadelas del levantamiento de datos técnicos de medidores que ha sido ejecutado por el sistema GIS, a partir del 2008 hasta enero 6 del 2010.

5.2.- Tabla de resultados de las pruebas a realizarse en los distintos tipos de medidores.

En la tabla # 6 que se muestra a continuación, es un formato donde se anotan algunos de los datos del medidor que va hacer probado, por ejemplo: medidor, fabricante, tipo, las pruebas de precisión en alta y en baja, etc.

Por norma ANSI para medidores electromecánicos y electrónicos el % de error es del $\pm 2\%$.

TABLA DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.

INFORME DE PRUEBA DE MEDIDORES				
Número de Medidor	Fabricante	Medidor Tipo	Valor KH	Valor RR
Número de Sello	Precisión Prueba # 1		Precision Prueba # 2	
	120V 1,5A <input type="checkbox"/>	% <input type="checkbox"/>	120V 15A <input type="checkbox"/>	% <input type="checkbox"/>
	240V 3A <input type="checkbox"/>		240V 30A <input type="checkbox"/>	
Estatus del Medidor:				
Observaciones:				
Técnico Responsable: (Nombre)				
Fecha:		Firma:		

Tabla # 7 Informe de prueba de medidores.

Fuente: Autores.

Costo final del equipo.

Materiales	Unidad	Cant.	Precio Unit.	Valor
Breakers 3 polos 40A	u	1	38,98	38,98
Breakers 1 polos 10A	u	2	14,00	28,00
Breakers 2 polos 30A	u	1	22,00	22,00
Selector 3 posiciones	u	3	15,28	45,84
Selector 2 posiciones fijas(Llave)	u	1	12,50	12,50
Luces Piloto	u	4	23,92	95,68
Contactores serie K	u	3	22,13	66,39
Contactores serie D	u	3	42,13	126,39
Modulo metálico para el equipo	u	1	220,00	220,00
Resistencias	glb.	1	400,00	400,00
Transformador de corriente	u	1	28,00	28,00
Cable flexible #16	rollo	1	32,00	32,00
Paneles de Poliestireno	u	2	58,33	116,66
Cable flexible #8	m	25	1,60	40,00
Base Socket 5 terminales	u	1	18,00	18,00
Borneras de control y fuerza	glb.	1	45,00	45,00
Cable concéntrico 4x10 awg flexibe	m	4	2,55	10,20
Enchufe 30Amp.	u	1	16,00	16,00
Rieles Din	glb.	1	22,00	22,00
Ventiladores	u	3	21,00	63,00
Brazo graduador para sensor	u	1	23,00	23,00
Convertidor manhathan	u	1	12,30	12,30
Cable USB	u	1	3,80	3,80
Amarras plasticas	100u	1	6,00	6,00
Módulo de adquisición de datos PM-800	u	1	820,00	820,00
Fuente de 24VDC	u	1	180,00	180,00
Sensor óptico de contraste	u	1	85,00	85,00
Convertidor ADAM	u	1	86,00	86,00
Diseño del software de control	u	1	200,00	200,00
Planchas acrílicas	u	6	8,00	48,00
Rótulos de identificación	glb.	1	25,00	25,00
Marquillas	glb.	1	15,00	15,00
Canaletas pvc	u	2	14,00	28,00
Computadora portátil	u	1	480,00	480,00
Materiales varios(Cinta aislante, terminales, tornillos, etc)	glb.	1	50,00	50,00

Subtotal \$ 3.508,74

IVA 12% \$ 421,05

Total Materiales Utilizados \$ 3.929,79

Tabla # 8 Costo final del equipo.

Fuente: Autores.

CONCLUSIONES.

Las conclusiones que se puede mencionar para el equipo de contrastación para medidores monofásicos son las siguientes:

- En la parte constructiva, en la parte del circuito de control tiene que tener sus debidas protecciones en vista de que se manejan aparatos de alto costo.
- En el momento de que el led emita la señal para poder leer una vuelta del disco del medidor, el contrastador tiene que estar bien calibrado.
- El PM800 por ser nuestro medidor patrón, tiene que estar calibrado para que reciba bien las señales de voltaje, corriente, etc.
- En la parte de la aplicación, por ser un equipo portátil, podemos prestar un servicio a los usuarios, para ser todas las pruebas necesarias para dicho medidor, prueba visual, prueba de precisión y prueba de carga, por ejemplo a un sector determinado “alborada mz17-18”.

BIBLIOGRAFÍA.

LIBROS.

- SCHLUMBERGER, *Instruction Manual Alternating Current Watthour Meters 7ma. Edición,*, Sangamo, Weston 1981.
- EDISON ELECTRIC INSTITUTE, *Handbook for electricity metering,* Tenth edition, Edison Electric Institute, Washington DC 2002.
- ASTUDILLO Otto, *Electricidad II,* Edición de Prueba, Colegio Domingo Comín, Guayaquil-Ecuador 1996.
- SERWAY-BEICHNER, *Física Para Ciencias e Ingenierías- 5ta. Edición,* Mac Graw-Hill, México 2001.
- MAZZINI Gustavo, *Manual de consulta de medidores,* General Electric.

PÁGINAS WEB.

- http://es.wikipedia.org/wiki/Campo_magn%C3%A9tico
- <http://www.monografias.com/trabajos12/magne/magne.shtml>
- <http://www.scribd.com/doc/28155494/La-Bobina-dentro-de-Circuitos-Energizados-con-corriente-alterna-y-continua>
- html.rincondelvago.com
- http://www.velasquez.com.co/paginas/transformadores_de_corriente.htm
- <http://www.fisicarecreativa.com/guias/capitulo1.pdf>
- <http://www.mariangaspi.blogspot.com/>
- <http://www.elprisma.com/apuntes/curso.asp?id=6493>
- <http://www.resortesdag.com.ar/productos.htm>
- <http://www.disfrutalasmaticas.com/datos/exactitud-precision.html>